

**Computer screen display digital panoramic image having fish eye objective  
panorama image detector projected without reducing field forming non  
circular image/covering increase number pixels.**

**Patent number:** FR2827680  
**Publication date:** 2003-01-24  
**Inventor:** MOUSTIER CHRISTOPHE; BLANC BENJAMIN  
**Applicant:** IMMERSION INTERNAT PTE LTD (SG)  
**Classification:**  
- **International:** G03B37/00; H04N5/225; G03B37/00; H04N5/225;  
(IPC1-7): G03B1/08  
- **European:** G03B37/00; H04N5/225V  
**Application number:** FR20010009735 20010720  
**Priority number(s):** FR20010009735 20010720

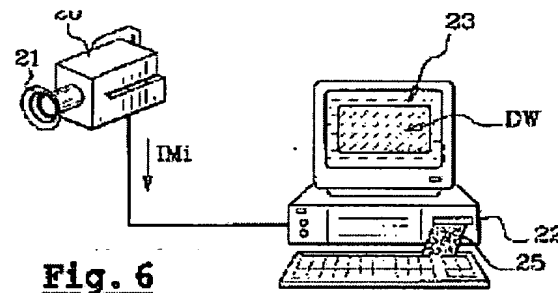
**Also published as:**

WO03010599 (A1)  
EP1421442 (A1)  
US6865028 (B2)  
US2004169726 (A1)  
CN1554036 (A)

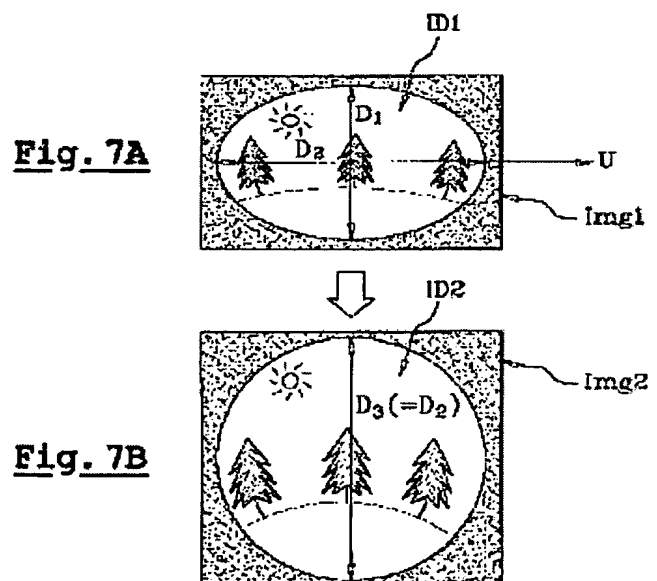
Report a data error here

**Abstract of FR2827680**

The invention concerns a method for capturing a digital panoramic image, by projecting a panorama on an image sensor using a fish-eye lens having a constant field of view relative to its optical axis, the image sensor being rectangular in shape. The invention is characterised in that the fish-eye lens is designed to project on the image sensor, without reducing the photographing field, a deformed panoramic image (ID1) which covers on the sensor a number of pixels greater than the number of pixels which would be covered on a picture disc. The invention enables to enhance definition in a useful zone of the image, in particular to enhance the quality of digital zooms.



**Fig. 6**



**Fig. 7A**

**Fig. 7B**

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :

2 827 680

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

01 09735

⑤1 Int Cl<sup>7</sup> : G 03 B 1/08

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 20.07.01.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 24.01.03 Bulletin 03/04.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : IMMERSION INTERNATIONAL PTE  
LTD — SG.

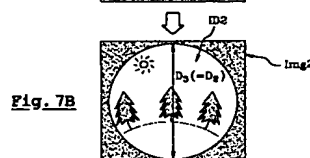
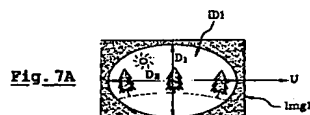
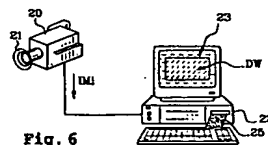
⑦2 Inventeur(s) : MOUSTIER CHRISTOPHE et BLANC  
BENJAMIN.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : MARCHAND ANDRE.

⑤4 PROCÉDE DE CAPTURE D'UNE IMAGE PANORAMIQUE AU MOYEN D'UN CAPTEUR D'IMAGE DE FORME  
RECTANGULAIRE.

⑤7 L'invention concerne un procédé de capture d'une  
image panoramique numérique, par projection d'un panora-  
ma sur un capteur d'image au moyen d'un objectif fish-eye  
ayant un angle de champ constant relativement à son axe  
optique, le capteur d'image étant de forme rectangulaire.  
Selon l'invention, l'objectif fish-eye est prévu pour projeter  
sur le capteur d'image, sans diminution du champ de prise  
de vue, une image panoramique déformée (ID1) qui couvre  
sur le capteur d'image un nombre de pixels supérieur au  
nombre de pixels qui serait couvert par un disque image.  
Avantages amélioration de la définition dans une zone utile  
de l'image, notamment pour l'amélioration de la qualité des  
zooms numériques.



FR 2 827 680 - A1



PROCEDE DE CAPTURE D'UNE IMAGE PANORAMIQUE AU MOYEN D'UN  
CAPTEUR D'IMAGE DE FORME RECTANGULAIRE

La présente invention concerne l'obtention d'images panoramiques numériques et l'affichage d'images panoramiques sur des écrans d'ordinateurs.

La présente invention concerne notamment un procédé de  
5 capture d'une image panoramique numérique, comprenant une étape de projection d'un panorama sur un capteur d'image au moyen d'un objectif fish-eye ayant un angle de champ constant relativement à son axe optique, le capteur d'image étant de forme rectangulaire.

10 La présente invention concerne également un procédé d'affichage sur un écran d'une image panoramique initiale capturée conformément au procédé mentionné ci-dessus.

La figure 1 représente un dispositif classique permettant de réaliser une image panoramique numérique et de  
15 la présenter sur un écran d'ordinateur. Le dispositif comprend un appareil de prise de vue numérique 1 équipé d'un objectif fish-eye 2 ayant un angle de champ constant relativement à son axe optique et offrant de préférence un angle solide de capture d'image d'au moins  $2\pi$  stéradians  
20 (soit un angle de champ d'au moins  $180^\circ$ ). L'appareil 1 est connecté à un calculateur 5, par exemple un micro-ordinateur, pourvu d'un écran 6. La connexion au micro-ordinateur 5 peut être permanente, par exemple lorsque l'appareil 1 est une caméra vidéo numérique, ou temporaire, par exemple lorsque  
25 l'appareil 1 est un appareil photographique numérique pourvu d'une mémoire d'images.

La figure 2 représente schématiquement l'aspect d'une image panoramique 4 projetée sur un capteur d'image numérique 3 au moyen de l'objectif fish-eye 2. Conformément à la norme  
30 industrielle la plus répandue pour les appareils photographiques numériques grand public, le capteur d'image 3 est de forme rectangulaire, pour produire des photographies rectangulaires au format 4/3 (format vidéo). L'image du

panorama projetée sur le capteur d'image a la forme d'un disque et est caractéristique de la symétrie axiale des objectifs fish-eye ayant un angle de champ constant relativement à leur axe optique. L'image complète sur le capteur d'image rectangulaire présente ainsi des bords sombres qui seront supprimés lors d'un traitement numérique ultérieur. Cette image numérique rectangulaire comprenant le disque image 4 est délivrée par l'appareil 1 sous forme d'un fichier informatique contenant des points image codés RVBA agencés dans une table à deux dimensions, "R" étant le pixel rouge d'un point image, "V" le pixel vert, "B" le pixel bleu, et "A" le paramètre Alpha ou transparence, les paramètres R, V, B, A étant généralement codés sous 8 bits.

Le fichier image est ensuite transféré dans le micro-ordinateur 5 qui transforme le disque image initial 4 en une image numérique à trois dimensions, puis présente à l'utilisateur un secteur de l'image à trois dimensions dans une fenêtre d'affichage DW occupant tout ou partie de l'écran 6.

La figure 3 illustre schématiquement des étapes classiques de transformation de l'image panoramique à deux dimensions en une image panoramique offrant un effet de perspective réaliste. Après suppression des bords noirs de l'image, le micro-ordinateur dispose d'un ensemble de points image formant un disque image 10 de centre  $O'$  et d'axes  $O'U$  et  $O'V$ . Les points image du disque image 10 sont transférés dans un espace à trois dimensions défini par un repère orthogonal d'axes  $OXYZ$ , l'axe  $OZ$  étant perpendiculaire au plan du disque image. Le transfert est assuré par une fonction mathématique mise en oeuvre par un algorithme exécuté par le micro-ordinateur, et conduit à l'obtention d'un ensemble de points image référencés dans le repère  $OXYZ$ . Ces points image sont par exemple codés en coordonnées sphériques  $RVBA(\varphi, \theta)$ ,  $\varphi$  étant la latitude et  $\theta$  la longitude d'un point image, les angles  $\varphi$  et  $\theta$  étant codés sur 4 à 8 octets (norme IEEE). Ces points image forment une portion de sphère HS couvrant un angle solide d'au moins  $2\pi$  stéradians relativement au centre  $O$  du référentiel. Le micro-ordinateur

dispose ainsi d'une image virtuelle tridimensionnelle dont un secteur 11, correspondant à la fenêtre d'affichage DW mentionnée plus haut, est présenté sur l'écran (fig. 1) en considérant que l'observateur se trouve sur le point central  
5 O du système d'axes OXYZ, qui définit avec le centre O" du secteur d'image 11 une direction OO" appelée "direction du regard".

Cette technique d'affichage sur un écran d'ordinateur d'un secteur d'image numérique panoramique présente divers  
10 avantages, notamment la possibilité "d'explorer" l'image panoramique en faisant glisser le secteur d'image 11 présenté à l'écran vers la gauche, la droite, le haut ou le bas, jusqu'à atteindre les limites de l'image panoramique. Cette technique permet également d'effectuer des rotations  
15 complètes à l'intérieur de l'image lorsque deux images numériques complémentaires ont été prises et fournies au micro-ordinateur, ce dernier reconstituant alors une sphère panoramique complète par assemblage de deux demi-sphères. Un autre avantage offert par la présentation d'une image  
20 panoramique sur écran est de permettre à l'observateur d'effectuer des grossissements, ou zooms, sur des parties de l'image. Les zooms sont effectués de façon numérique, par rétrécissement du secteur d'image affiché et dilatation de la répartition des points image sur les pixels de l'écran.

25 Malgré ces divers avantages, les zooms numériques présentent l'inconvénient d'être limités par la résolution du capteur d'image, qui est généralement très inférieure à celle d'une photographie conventionnelle. Ainsi, lorsque le grossissement augmente, la granulosité de l'image apparaît  
30 car on arrive aux limites de la résolution du capteur d'image.

Pour pallier cet inconvénient, il est connu de procéder à des interpolations de pixels afin de retarder l'apparition des pavés de couleur qui trahissent les limites de la  
35 résolution du capteur. Toutefois, cette méthode ne fait qu'améliorer l'aspect du secteur d'image grossi et ne permet aucunement d'apporter un surcroît de définition. Une autre solution, évidente, est de prévoir un capteur d'image

présentant une résolution élevée, supérieure à la résolution nécessaire pour la présentation d'un secteur d'image sans grossissement, de sorte qu'il reste une marge de définition pour les zooms. Cette solution est toutefois coûteuse car le  
5 prix de revient d'un capteur d'image augmente rapidement avec le nombre de pixels par unité de surface. Encore une autre solution classique consiste à agencer le capteur d'image dans un plan où le diamètre du disque image est égal à la longueur du capteur d'image. On couvre alors toute la surface du  
10 capteur d'image mais l'image projetée est tronquée en haut et en bas dans le sens de la largeur du capteur d'image. L'inconvénient est dans ce cas une diminution du champ de prise de vue.

Ainsi, un objectif général de la présente invention est  
15 d'améliorer la définition offerte par des grossissements numériques portant sur certaines parties d'une image panoramique numérique, sans qu'il soit nécessaire d'augmenter le nombre de pixels par unité de surface d'un capteur d'image et sans diminution du champ de prise de vue.

20 Pour atteindre cet objectif, la présente invention se fonde sur deux constatations :

1) les capteurs d'image rectangulaires utilisés dans les appareils photographiques numériques grand public, notamment les capteurs 4/3, ne sont pas optimisés pour la  
25 capture d'image fish-eye. Comme on l'a vu plus haut en relation avec la figure 2, les bords noirs de chaque côté du disque image 4 occupent une surface importante et représentent un nombre non négligeable de pixels perdus, au détriment de la définition et de la qualité des zooms  
30 numériques,

2) dans de nombreuses applications comme la vidéosurveillance, la vidéoconférence, la visioconférence, la zone la plus intéressante d'une image panoramique numérique est généralement située vers le centre de l'image, le long  
35 d'une ligne horizontale qui traverse le disque image de la gauche vers la droite en passant par son centre. Dans le domaine des loisirs, la plupart des images panoramiques comprennent également des parties moins intéressantes que

d'autres, par exemple les parties représentant le ciel ou un plafond, ainsi que le sol, la partie la plus utile se trouvant généralement au voisinage du centre de l'image, le long de la ligne horizontale précitée.

5 Sur la base de ces constatations, l'idée de la présente invention est de prévoir une dilatation de l'image fish-eye projetée sur un capteur d'image rectangulaire, en prévoyant et en utilisant un objectif fish-eye selon l'invention qui déforme les images par anamorphose et les étire latéralement  
10 sans diminution du champ de prise de vue. Ainsi, une telle dilatation est effectuée dans le sens de la longueur du capteur d'image, sans dilater l'image dans le sens de la largeur du capteur d'image afin d'éviter un débordement de l'image en dehors de la surface sensible du capteur. La zone  
15 centrale de l'image selon la ligne horizontale précitée couvre alors un nombre de pixels du capteur d'image plus important que si elle n'était pas dilatée, et bénéficie d'une meilleure définition, ce qui améliore très sensiblement la qualité des zooms numériques.

20 Selon un autre aspect de l'invention, on prévoit un traitement ultérieur de l'image afin de corriger les déformations optiques de l'objectif tout en conservant l'avantage d'une meilleure définition, et l'on présente un secteur d'image dépourvu de déformation dans une fenêtre  
25 d'affichage.

Plus particulièrement, la présente invention concerne un procédé de capture d'une image panoramique numérique, comprenant une étape de projection d'un panorama sur un capteur d'image au moyen d'un objectif fish-eye ayant un  
30 angle de champ constant relativement à son axe optique, le capteur d'image étant de forme rectangulaire, dans lequel l'objectif fish-eye est prévu pour projeter sur le capteur d'image, sans diminution du champ de prise de vue, une image panoramique déformée qui n'est pas en forme de disque et qui  
35 couvre sur le capteur d'image un nombre de pixels supérieur au nombre de pixels qui serait couvert par un disque image conventionnel.



Selon un mode de réalisation, l'objectif fish-eye présente une fonction de répartition de points image qui varie selon des axes perpendiculaires à l'axe optique de l'objectif, et qui présente un taux d'étalement de l'image minimal le long d'un premier axe perpendiculaire à l'axe optique, et un taux d'étalement de l'image maximal le long d'au moins un second axe perpendiculaire à l'axe optique, de telle sorte que l'image projetée sur le capteur d'image est dilatée selon le second axe.

Selon un mode de réalisation, le premier et le second axes de l'objectif sont perpendiculaires et l'image projetée par l'objectif sur le capteur d'image est de forme ellipsoïdale.

Selon un mode de réalisation, le capteur d'image est agencé relativement aux premier et second axes de l'objectif de manière que le grand axe de l'image ellipsoïdale coïncide avec une longueur utile du capteur d'image.

Selon un mode de réalisation, le capteur d'image est agencé relativement aux premier et second axes de l'objectif de manière que le grand axe de l'image ellipsoïdale coïncide avec une diagonale du capteur d'image.

Selon un mode de réalisation, l'objectif présente une fonction de répartition qui n'est pas linéaire et qui présente une divergence maximale d'au moins  $\pm 10\%$  par rapport à une fonction de répartition linéaire, de telle sorte que l'image projetée présente au moins une zone sensiblement dilatée et au moins une zone sensiblement comprimée.

Selon un mode de réalisation, l'objectif fish-eye comprend une combinaison d'un groupe de lentilles prévu pour capturer une image panoramique selon un angle de champ déterminé, et d'au moins une lentille cylindrique ayant un axe de révolution perpendiculaire à l'axe optique de l'objectif.

La présente invention concerne également un procédé d'affichage sur un écran d'une image panoramique initiale capturée conformément au procédé selon l'invention, comprenant une étape de correction des déformations de l'image initiale.

Selon un mode de réalisation, l'étape de correction comprend la transformation de l'image initiale en une image numérique corrigée en forme de disque, le diamètre de l'image corrigée étant choisi de manière que l'image corrigée  
5 comprennent un nombre de points image supérieur au nombre de pixels du capteur d'image couvert par l'image initiale.

Selon un mode de réalisation, l'image initiale est de forme ellipsoïdale et l'image corrigée présente un diamètre dont la taille en nombre de pixels est au moins égale à la  
10 taille en nombre pixels du grand axe de l'image initiale ellipsoïdale.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de projection sur l'image initiale de points image d'un secteur d'image à présenter sur l'écran, permettant de  
15 déterminer les couleurs des points image du secteur d'image à présenter sur l'écran, l'étape de projection sur l'image initiale des points image du secteur d'image étant effectuée au moyen d'une fonction de répartition représentative des propriétés optiques de l'objectif fish-eye, de telle sorte  
20 que l'étape de correction des déformations de l'image initiale est implicite dans l'étape de projection.

Selon un mode de réalisation, l'étape de projection comprend une première étape de projection des points image du secteur d'image sur une portion de sphère, et une seconde  
25 étape de projection sur l'image initiale des points image projetés sur la portion de sphère.

La présente invention concerne également un produit programme d'ordinateur enregistré sur un support et chargeable dans la mémoire d'un ordinateur numérique,  
30 comprenant des codes programme exécutables par l'ordinateur, agencés pour l'exécution des étapes du procédé d'affichage selon l'invention.

La présente invention concerne également un objectif fish-eye ayant un angle de champ constant relativement à son  
35 axe optique, comprenant des moyens optiques pour projeter l'image d'un panorama sur un capteur d'image, et des moyens optiques pour projeter, sans diminution du champ de prise de vue, une image déformée qui n'est pas en forme de disque et

qui couvre sur un capteur d'image un nombre de pixels supérieur au nombre de pixels qui serait couvert par un disque image conventionnel.

5 Selon un mode de réalisation, l'objectif présente une fonction de répartition de points image qui varie selon des axes perpendiculaires à l'axe optique de l'objectif, et qui présente un taux d'étalement de l'image minimal le long d'un premier axe perpendiculaire à l'axe optique, et un taux d'étalement de l'image maximal le long d'au moins un second  
10 axe perpendiculaire à l'axe optique, de telle sorte qu'une image délivrée par l'objectif est dilatée selon le second axe.

Selon un mode de réalisation, l'objectif présente une fonction de répartition qui n'est pas linéaire et qui  
15 présente une divergence maximale d'au moins  $\pm 10\%$  par rapport à une fonction de répartition linéaire, de telle sorte qu'une image délivrée par l'objectif présente au moins une zone sensiblement dilatée et au moins une zone sensiblement comprimée.

20 Selon un mode de réalisation, l'objectif comprend une combinaison d'un groupe de lentilles prévu pour capturer une image panoramique selon un angle de champ déterminé, et d'au moins une lentille cylindrique ayant un axe de révolution perpendiculaire à l'axe optique de l'objectif.

25 Selon un mode de réalisation, l'objectif comprend des moyens optiques formant apodiseur.

Selon un mode de réalisation, les moyens optiques formant apodiseur comprennent au moins une lentille asphérique.

30 Selon un mode de réalisation, l'objectif comprend au moins un miroir déformant.

Selon un mode de réalisation, l'objectif est du type adaptateur panoramique et est prévu pour être placé devant un objectif non panoramique d'appareil photographique.

35 Ces objets, caractéristiques et avantages ainsi que d'autres de la présente invention seront exposés plus en détail dans la description suivante du procédé selon l'invention et d'un exemple de réalisation d'un objectif

fish-eye selon l'invention, faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

- la figure 1 précédemment décrite représente un système classique d'affichage sur un écran d'une image panoramique numérique,
- la figure 2 précédemment décrite représente une image panoramique de type fish-eye projetée sur un capteur d'image rectangulaire,
- la figure 3 précédemment décrite illustre un procédé classique de transformation d'une image panoramique à deux dimensions en une image panoramique numérique à trois dimensions,
- la figure 4 est une vue en coupe schématique d'un système de capture d'image panoramique comprenant un objectif fish-eye selon l'invention,
- les figures 5A, 5B, 5C représentent des propriétés optiques d'un objectif fish-eye utilisé pour mettre en œuvre le procédé de capture d'image selon l'invention,
- la figure 6 représente un système d'affichage d'une image panoramique numérique,
- les figures 7A et 7B illustrent un premier procédé de correction d'une image panoramique selon l'invention,
- la figure 8 est un organigramme décrivant un procédé d'affichage d'une image panoramique incorporant le premier procédé de correction,
- la figure 9 illustre un second procédé de correction d'une image panoramique selon l'invention,
- la figure 10 est un organigramme décrivant un procédé d'affichage d'une image panoramique incorporant le second procédé de correction,
- la figure 11 illustre par une vue en coupe un exemple de réalisation objectif fish-eye selon l'invention,
- la figure 12 est une vue éclatée en coupe d'un système de lentilles présent dans l'objectif de la figure 11,
- la figure 13 illustre une variante du procédé de capture d'image panoramique selon l'invention, et
- les figures 14A et 14B illustrent une autre variante du procédé de capture d'image panoramique selon l'invention, et

- les figures 15A et 15B illustrent encore une autre variante du procédé de capture d'image panoramique selon l'invention.

**Description d'un procédé de capture d'image panoramique selon l'invention**

5       **I - Déformation d'une image initiale**

La figure 4 représente schématiquement, par une vue en coupe, un système de capture d'image panoramique comprenant un objectif fish-eye 15 selon l'invention ayant un angle de champ constant relativement à son axe optique OZ, ainsi qu'un capteur d'image rectangulaire 16 agencé dans le plan image de l'objectif 15.

Vu dans le plan de coupe de la figure 4, les propriétés de l'objectif fish-eye 15 sont conformes à celles d'un objectif classique et se caractérise par une fonction de répartition angulaire  $F_d$  déterminée. Considérons à titre d'exemple deux points objet a, b appartenant à un panorama PM et présentant respectivement des angles de champ  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ . De façon conventionnelle, l'angle de champ d'un point objet est l'angle que présente relativement à l'axe optique OZ un rayon lumineux incident passant par le point objet considéré et par le centre du panorama PM, repéré par un point "p". Sur le capteur 16, des points image a', b' correspondant aux points objet a, b se trouvent à des distances  $d(a')$ ,  $d(b')$  du centre de l'image qui sont liées aux angles  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  par les relations suivantes :

$$(1) \quad d(a') = F_d(\alpha_1)$$

$$(2) \quad d(b') = F_d(\alpha_2)$$

30        $F_d$  étant la fonction de répartition des points image relativement à l'angle de champ des points objet.

L'objectif 15 selon l'invention diffère d'un objectif classique par le fait que la fonction de répartition  $F_d$  varie selon la position des points objet dans un plan perpendiculaire à l'axe optique OZ. Ceci sera mieux compris en se référant aux figures 5A, 5B et 5C qui illustrent les propriétés de cet objectif.

La figure 5A représente le panorama PM sous la forme d'un cercle, l'axe optique OZ étant ici perpendiculaire au plan de la figure. L'objectif présente deux axes X1, X2 se trouvant dans un plan PL perpendiculaire à l'axe optique OZ (soit parallèle ou confondu avec le plan de la feuille), chacun des deux axes X1, X2 passant par l'axe optique OZ. L'écart angulaire entre les deux axes X1, X2 est désigné  $\psi_1$  et est de préférence égal à  $90^\circ$ . Selon l'invention, l'objectif présente une fonction de répartition  $Fd[X1]$  le long de l'axe X1 et une fonction de répartition  $Fd[X2]$  le long de l'axe X2. Les fonctions  $Fd[X1]$  et  $Fd[X2]$  sont différentes, la fonction  $Fd[X1]$  étant celle qui présente un plus faible taux d'étalement de l'image et la fonction  $Fd[X2]$  celle qui présente un plus fort taux d'étalement de l'image.

Pour fixer les idées, considérons deux couples de points objet a1, b1 et a2, b2 agencés respectivement le long de l'axe X1 et de l'axe X2, les points a1 et a2 ayant le même angle de champ  $\alpha_1$  et les points b1 et b2 le même angle de champ  $\alpha_2$  relativement à l'axe optique OZ (Cf. figure 4). La figure 5B représente la projection de ces points sur le capteur d'image rectangulaire 16. L'objectif est agencé relativement au capteur d'image 16 de manière que l'axe de plus faible étalement X1 coïncide avec la largeur du capteur et que l'axe de plus fort étalement X2 coïncide avec la longueur du capteur. L'axe X2 correspond de préférence à l'axe horizontal d'une prise de vue et l'axe X1 correspond à l'axe vertical. Sur l'image projetée, représentée en fig. 5B, on distingue des points image a1', b1' le long de l'axe X1 et des points image a2', b2' le long de l'axe X2. Le point a1' est à une distance  $d(a1') = F[X1](\alpha_1)$  du centre de l'image, le point b1' est à une distance  $d(b1') = F[X1](\alpha_2)$  du centre de l'image, le point a2' est à une distance  $d(a2') = F[X2](\alpha_1)$  du centre de l'image et le point b2' est à une distance  $d(b2') = F[X2](\alpha_2)$  du centre de l'image. Avec un objectif fish-eye classique, la distance  $d(a2')$  serait égale à la distance  $d(a1')$  car les points objet a1, a2 ont le même angle de champ  $\alpha_1$ . De même, la distance  $d(b2')$  serait égale à la distance  $d(b1')$  car les points objet b1, b2 ont le même

angle de champ  $\alpha_2$ . Avec l'objectif fish-eye selon l'invention, la distance  $d(b_2')$  est supérieure à la distance  $d(b_1')$  et la distance  $d(a_2')$  est supérieure à la distance  $d(a_1')$ .

5 De préférence, la fonction  $F_d[X_1]$  est choisie de manière que les points image présents le long de l'axe  $X_1$  occupent toute la largeur utile  $l_c$  du capteur. De même, la fonction  $F_d[X_2]$  est choisie de manière que les points image présentes le long de l'axe  $X_2$  occupent toute la longueur  
10 utile  $L_c$  du capteur. Ainsi, si les angles de champ des points objet  $b_1$ ,  $b_2$  sont égaux à  $90^\circ$ , comme cela est représenté sur les figures 4 et 5A, et si l'angle d'ouverture de l'objectif est de  $180^\circ$ , les distances  $d(b_1')$ ,  $d(b_2')$  relativement au centre de l'image des points image  $b_1'$ ,  $b_2'$  sont  
15 respectivement égales  $l_c/2$  et  $L_c/2$  (fig. 5B).

Outre les axes  $X_1$  et  $X_2$ , l'objectif selon l'invention présente une infinité d'axes intermédiaires  $X_i$  le long desquels l'objectif présente des fonctions de répartition  $F_d[X_i]$  ayant un taux d'étalement déterminé supérieur au taux  
20 d'étalement minimal. Considérons à titre d'exemple un axe  $X_i$  présentant un angle  $\psi_i$  relativement à l'axe  $X_1$ , avec  $\psi_i$  inférieur à  $\psi_1$ , et deux points objet  $a_i$ ,  $b_i$  situés le long de l'axe  $X_i$  et présentant des angles de champ  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  (fig. 5A). Les points image correspondants  $a_i'$ ,  $b_i'$  sur le capteur  
25 16 (fig. 5B) se trouvent à des distances  $d(a_i') = F[X_i](\alpha_1)$  et  $d(b_i') = F[X_i](\alpha_2)$  relativement au centre de l'image. Les distances  $d(a_i')$  et  $d(b_i')$  sont respectivement supérieures à  $d(a_1')$  et  $d(b_1')$ .

Ainsi, la fonction de répartition  $F_d$  d'un objectif  
30 fish-eye selon l'invention varie en fonction de l'axe le long duquel se trouvent les points objet, dans un plan perpendiculaire à l'axe optique  $OZ$ , et présente un taux d'étalement minimal selon l'axe  $X_1$  et un taux d'étalement maximal selon au moins un second axe, soit l'axe  $X_2$  dans  
35 l'exemple décrit ci-dessus.

On décrira plus loin en relation avec les figures 11 et 12 un mode de réalisation d'un objectif selon l'invention qui délivre une image ellipsoïdale, grâce à l'emploi d'une

lentille toroïdale ayant un axe de révolution parallèle à l'axe optique, équivalente à une lentille cylindrique ayant un axe de révolution perpendiculaire à l'axe optique. Sur la figure 5B, le point image  $ai'$  se trouve alors sur une ellipse passant par les points  $a1'$  et  $a2'$  et le point image  $bi'$  se trouve sur une ellipse passant par les points  $b1'$  et  $b2'$ .

D'autre part, toujours selon le mode de réalisation décrit plus loin en relation avec les figures 11 et 12, la fonction  $Fd$  est linéaire le long de chaque axe  $Xi$  de l'objectif, de sorte que la distance  $d(ai')$  par rapport au centre de l'image d'un point image  $ai'$  obéit à la relation suivante :

$$(3) \quad d(ai') = K_i \alpha_i$$

dans laquelle  $\alpha_i$  est l'angle de champ du point objet correspondant  $ai$ , et  $K_i$  une constante de répartition qui est fonction de l'axe  $Xi$  le long duquel se trouve le point objet.

Pour fixer les idées, des exemples de fonctions de répartition  $Fd[Xi]$  d'un objectif selon l'invention sont représentées sous forme de courbes en figure 5C, sur un graphe comprenant en ordonnées des distances relatives  $dr$  et en abscisse des angles de champ  $\alpha$ . La distance relative  $dr$  d'un point image est la distance du point image par rapport au centre de l'image divisée par la plus grande distance relativement au centre de l'image d'un point image situé sur l'axe  $X1$ . Dans le cas d'une image ellipsoïdale, cette plus grande distance le long de l'axe  $X1$  est la demi-longueur  $D1/2$  du petit axe de l'ellipsoïde.

On distingue ainsi sur la figure 5C trois courbes correspondant aux trois fonctions de répartition  $Fd[X1]$ ,  $Fd[X2]$ ,  $Fd[Xi]$ . Dans cet exemple, ces fonctions de répartition sont linéaires et sont ainsi en forme de droites, de pentes respectives  $K1$ ,  $K2$  et  $Ki$ . La pente  $K1$  est égale à  $1/90^\circ$  pour un objectif ayant un angle d'ouverture de  $180^\circ$ , la pente  $K2$  est supérieure à  $K1$  et la pente  $Ki$  est comprise entre  $K1$  et  $K2$ . Comme indiqué plus haut, la pente  $K2$  est de



préférence égale à  $K1 \cdot Lc/lc$  afin que l'image couvre toute la longueur utile  $Lc$  du capteur d'image.

Dans ce qui suit, les autres aspects de la présente invention seront décrits en considérant le cas d'une  
 5 projection d'une image ellipsoïdale sur le capteur d'image. On désignera cette image ellipsoïdale un "ellipsoïde image" tandis que l'image en forme de disque classique sera appelé un "disque image", conformément à la terminologie usuelle.

L'avantage du procédé de l'invention est que la surface  
 10 couverte par l'image projetée est supérieure à celle couverte par un disque image, sans diminution du champ de prise de vue, de sorte que le nombre de pixels couverts par l'image est plus élevé. Le gain en définition obtenu grâce à la présente invention, exprimé en un rapport de pixels, est aisé  
 15 à calculer dans le cas d'une image ellipsoïdale. A la surface du capteur d'image, l'ellipsoïde image couvre un nombre de pixels  $NP$  égal à :

$$(4) \quad NP = \pi (D1/2) \cdot (D2/2) \cdot Np$$

20

$Np$  étant le nombre pixels du capteur par unité de surface,  $D2$  étant le grand axe et  $D1$  le petit axe de l'image ellipsoïdale (notons ici que  $D1$  est imposé par la largeur utile  $lc$  du capteur et que  $D2$  peut être au maximum égal à la longueur  
 25 utile  $Lc$  du capteur).

En comparaison, le nombre de pixels  $NP'$  couvert par un disque image est de :

$$(5) \quad NP' = \pi (D1^2/4) \cdot Np$$

30

$D1$  étant le diamètre de l'image, imposé par la largeur du capteur.

En combinant les relations (4) et (5), le pourcentage  $G\%$  de pixels gagnés entre un ellipsoïde image et un disque image  
 35 est égal à :

$$(6) \quad G\% = (D1/D2 - 1) \cdot 100$$

Le nombre de pixels que comprennent à l'heure actuelle les capteurs d'image des appareils photographiques numériques grand public est de l'ordre de 2 millions de pixels, soit 1600x1200 pixels, le rapport 4/3 correspondant au standard du marché grand public de la photographie numérique. Un objectif selon l'invention assurant une projection ellipsoïdale offre dans ces conditions un gain de 33% en nombre de pixels couverts, ce qui représente un gain en définition non négligeable le long de l'axe X2 et dans les parties de l'image se trouvant au voisinage de l'axe X2.

Ce gain est encore plus important quand le procédé selon l'invention est mis en œuvre avec un appareil photographique conventionnel utilisant une pellicule ayant un rapport longueur sur largeur de 3/2 (format 24\*36 des pellicules du commerce). La photographie réalisée est ensuite numérisée avec un scanner ayant une définition déterminée. Après numérisation, le gain en nombre de pixels couverts (à définition constante lors de la numérisation) est alors de 50%.

Il sera donc noté ici que le procédé selon l'invention est applicable aussi bien aux techniques de photographie numérique utilisant des capteurs d'image numériques qu'aux techniques de photographie numérique comprenant une étape de réalisation d'une photographie conventionnelle suivie d'une étape de numérisation de la photographie au moyen d'un scanner. Ainsi, dans la présente demande, le terme "capteur d'image numérique" désigne aussi bien un capteur d'image numérique qu'une pellicule photographique conventionnelle combinée avec un dispositif de numérisation comme un scanner.

## II - Correction des déformations de l'image initiale

On a décrit dans ce qui précède un premier aspect de l'invention, selon lequel on prévoit une dilatation d'une image projetée sur un capteur d'image afin d'améliorer la définition de l'image dans des zones dilatées, par augmentation du nombre de pixels du capteur d'image couvert par les zones dilatées. Avant de décrire un exemple de réalisation d'un objectif fish-eye selon l'invention, on décrira un deuxième aspect de l'invention qui consiste à

corriger les déformations de l'image initiale afin de présenter à l'observateur une image dépourvue de déformation optique. Comme indiqué ci-dessus, la description de cet aspect de l'invention sera faite en référence à un ellipsoïde  
5 image.

Ce deuxième aspect de l'invention est mis en œuvre au stade du traitement par ordinateur de l'image initiale, pour la présentation d'une image panoramique interactive sur un écran. Les moyens de mise en œuvre du procédé de l'invention  
10 sont illustrés en figure 6 et sont en soi classiques en ce qui concerne leur agencement général. On distingue un appareil de prise de vue numérique 20 équipé d'un objectif fish-eye 21, ici un objectif selon l'invention, connecté à un micro-ordinateur 22 comprenant un écran 23. Des images  
15 numériques IMi prises au moyen de l'appareil 20 sont transférées au micro-ordinateur pour être traitées et affichées sur l'écran 23, dans une fenêtre d'affichage DW. Un programme de traitement selon l'invention, comprenant un algorithme de transformation et d'affichage des images est  
20 préalablement chargé dans le micro-ordinateur, par exemple au moyen d'un Cd-rom 25 ou par téléchargement via l'Internet. L'appareil 20 peut être un appareil photographique numérique ou une caméra vidéo numérique et la connexion au micro-ordinateur peut être permanente ou non. Dans le cas d'une  
25 caméra vidéo, le micro-ordinateur reçoit un flux d'images qu'il traite en temps réel pour les afficher sur l'écran.

Dans ce contexte, la présente invention prévoit deux manières de corriger les déformations de l'image initiale. Selon un premier mode de réalisation, l'ellipsoïde image est  
30 corrigé de manière à obtenir un disque image classique. Le disque image corrigé est équivalent à un disque image issu d'un objectif fish-eye classique et peut ensuite être traité par tout logiciel d'affichage classique disponible dans le commerce, prévu pour transférer les points image d'un disque  
35 image dans un espace à trois dimensions et pour procéder à l'affichage interactif sur un écran d'un secteur de l'image tridimensionnelle. Selon un second mode de réalisation, l'image est corrigée en temps réel au moment de la

détermination des points image constituant le secteur d'image à présenter dans la fenêtre d'affichage DW, en faisant intervenir la fonction de répartition angulaire  $F_d$  de l'objectif.

#### 5 Premier mode de réalisation du procédé de correction

Les figures 7A et 7B illustrent le premier mode de réalisation du procédé selon l'invention. On suppose ici que l'on dispose d'une image initiale  $Img1$  comportant un ellipsoïde image  $ID1$  de petit axe  $D1$  et de grand axe  $D2$  (fig. 7A). L'image initiale  $Img1$  es transformée en une image corrigée  $Img2$  comportant un disque image  $ID2$  de rayon  $D3$  (fig. 7B). Le rayon  $D3$  du disque image  $ID2$  est de préférence égal au grand axe  $D2$  de l'ellipsoïde image  $ID1$ , de sorte que le disque image  $ID2$  présente une résolution égale ou  
15 sensiblement égale à la résolution offerte par la zone la plus étirée de l'ellipsoïde image  $ID1$ , là où se trouve la plus grande densité d'information. Il s'agit ici de la partie centrale de l'image se trouvant au voisinage du grand axe  $D2$ .

Ce procédé comprend consiste donc à étirer l'image  
20 verticalement dans une proportion de  $(D2/D1)*100$  pour cent. Il peut être mis en oeuvre au moyen de l'algorithme 1 décrit ci-après à titre d'exemple, dans lequel :

- $Img1$  est l'image initiale comprenant l'ellipsoïde image  $ID1$ ,
- 25 -  $Img2$  est l'image d'arrivée générée par l'algorithme 1, comprenant un disque image classique  $ID2$ ,
- $a$  est la demi longueur du petit axe de l'ellipsoïde image  $ID1$ , exprimée en nombre de pixels, soit  $a = D1/2*Np1$ ,  $Np1$  étant le nombre de pixels par unité de longueur du capteur  
30 d'image utilisé,
- $b$  est la demi longueur du grand axe de l'ellipsoïde image  $ID1$ , exprimée en nombre de pixels, soit  $b = D2/2*Np1$ ,
- $b$  est également le rayon du disque image  $ID2$ , exprimé en nombre de pixels,
- 35 - "O" désigne le centre de l'image initiale  $Img1$  ainsi que le centre de l'image d'arrivée  $Img2$ ,

- i et j sont les coordonnées d'un point image  $\text{Img2}[i,j]$  dans l'image  $\text{Img2}$ , i désignant les colonnes, j les lignes, le point de coordonnées (0,0) étant au centre de l'image,
- r est la distance au centre de l'image d'un point image
- 5 dans l'image  $\text{Img2}$ ,
- "u" et "v" sont les coordonnées d'un point image  $\text{Img1}[u,v]$  dans l'image initiale  $\text{Img1}$ , "u" désignant les colonnes, "v" les lignes, le point de coordonnées (0,0) étant au centre de l'image,
- 10 - [OU) est un axe de référence de direction U ayant son origine en O,
- [OP] est un segment de droite ayant un point d'origine en O et un point d'extrémité en P, P étant un point image de coordonnées (u,v),
- 15 -  $\theta$  est un angle entre l'axe [OU) et un segment [OP],
- " $\sqrt{\phantom{x}}$ " est la fonction racine carrée.
- "arc cos" est la fonction inverse de la fonction cosinus

#### ALGORITHME 1

```

1/ Pour i = -b à +b
20 2/   Pour j = -b à +b
3/       r =  $\sqrt{(i*i+j*j)}$ 
4/       Si (r ≤ b) alors
5/           Si j < 0 alors
6/                $\theta = \text{arc cos}(i/r)$ 
25 7/           Sinon
8/                $\theta = -\text{arc cos}(i/r)$ 
9/           Fin si
10/          u = r*cos( $\theta$ )
11/          v = (a/b)*r*sin( $\theta$ )
30 12/           $\text{Img2}[i,j] = \text{Img1}[u,v]$ 
13/      Fin si
14/  Fin pour
15/Fin pour

```

En pratique, l'algorithme 1 peut être amélioré en

35 effectuant a posteriori une interpolation bilinéaire sur l'image  $\text{Img2}$ , en soi bien connue de l'homme de l'art, afin de lisser l'image finale.

La figure 8 est un organigramme donnant un aperçu général des étapes d'un procédé de capture et de présentation interactive d'une image panoramique sur un écran. Cet organigramme est décrit par le tableau 1 figurant en Annexe, 5 faisant partie intégrante de la description. Les étapes S1 et S2, respectivement d'acquisition de l'image et de transfert de l'image dans un ordinateur, sont en soi classiques et se distinguent de l'art antérieur par le fait que l'image capturée est de forme ellipsoïdale. L'étape S3 de correction 10 de l'ellipsoïde image ID1 est exécutée conformément au procédé de l'invention, par exemple au moyen de l'algorithme décrit ci-dessus. L'étape S4, dite de "numérisation", est également classique. Cette étape consiste à transférer les points image du disque image ID2 dans un espace à trois 15 dimensions d'axes OXYZ dans lequel les points image sont par exemple référencés en coordonnées sphériques. L'étape S5 est également classique et consiste à présenter dans la fenêtre d'affichage DW un secteur de l'image. La fenêtre d'affichage est déplacée vers le haut ou vers le bas en fonction des 20 actions de l'utilisateur, ou fait l'objet d'un grossissement sur demande de l'utilisateur. Lors d'un grossissement, on bénéficie d'une meilleure définition que dans l'art antérieur dans les zones correspondant aux parties dilatées de l'image initiale.

#### 25      **Second mode de réalisation du procédé de correction**

Le deuxième mode de réalisation du procédé de correction selon l'invention est illustré en figure 9. Très schématiquement, ce procédé consiste à projeter sur l'ellipsoïde image ID1 de l'image initiale Img1 les points 30 image d'un secteur d'image IS à présenter dans la fenêtre d'affichage DW (fig. 6). Ce procédé ne nécessite pas le calcul d'un disque image corrigé.

Les points image du secteur d'image IS à afficher dans la fenêtre DW sont référencés  $E(i,j)$  dans le repère du 35 secteur d'image IS, qui est exprimé en coordonnées de lignes  $i$  et en coordonnées de colonnes  $j$ . Les points  $E(i,j)$  sont tout d'abord projetés sur une portion de sphère HS de centre O et de rayon R dans un repère d'origine O et d'axes OX, OY,

OZ, pour obtenir des points image  $P(px, py, pz)$  appartenant à la portion de sphère.

Dans un souci de simplicité, il sera considéré que l'objectif fish-eye qui est utilisé ici présente un angle d'ouverture de  $180^\circ$ . La portion de sphère HS est dans ce cas une hémisphère. Le secteur d'image IS se déplace tangentielllement à cette hémisphère.

Les points image  $P(px, py, pz)$  déterminés sur l'hémisphère HS sont ensuite projetés sur l'ellipsoïde image ID1 au moyen de la fonction de répartition  $F_d$  de l'objectif fish-eye, ce qui nécessite le calcul préalable de l'angle de champ  $\alpha$  des points P par rapport au centre O de l'hémisphère, le centre O étant l'équivalent virtuel du centre "p" du panorama au moment de la capture d'image. La projection des points image  $P(px, py, pz)$  sur l'hémisphère HS permet d'obtenir des points image  $P'(pu, pv)$  sur l'ellipsoïde image, dans un repère de centre O' correspondant au centre de l'ellipsoïde image et d'axes O'U et O'V. L'axe OZ dans le référentiel de l'hémisphère est perpendiculaire au plan de l'ellipsoïde image ID1 et passe par le centre O', de sorte que les axes O'Z et OZ sont confondus.

Comme cela apparaîtra clairement à l'homme de l'art, la correction des déformations de l'image est implicite ici puisque l'on va "chercher" sur l'ellipsoïde image ID1, au moyen de la fonction de répartition  $F_d$ , les points image  $P'(pu, pv)$  correspondant aux points image  $E(i, j)$  du secteur d'image IS.

Le procédé selon l'invention est mis en œuvre au moyen de l'algorithme 2 décrit ci-après, dans lequel :

- i et j sont les coordonnées d'un point  $E(i, j)$  du secteur d'image IS,
- Imax et Jmax sont le nombre de colonnes et le nombre de lignes du secteur d'image IS,
- $E_x$ ,  $E_y$  et  $E_z$  sont les coordonnées cartésiennes dans le repère OXYZ d'un point  $E(i, j)$  du secteur d'image IS,
- $px$ ,  $py$  et  $pz$  sont les coordonnées cartésiennes d'un point  $P(px, py, pz)$  sur l'hémisphère HS,

- pu et pv sont les coordonnées cartésiennes dans le repère O'UV d'un point image P' (pu,pv) de l'ellipsoïde image,
- L1 est la taille du demi petit axe de l'ellipsoïde image, exprimée en nombre de pixels ( $L1 = D1/2*Np1$ ),
- 5 - L2 est la taille du demi grand axe de l'ellipsoïde image, en nombre de pixels ( $L1 = D2/2*Np1$ ),
- M est le centre du secteur d'image IS,
- la "direction regard" est la direction matérialisée par le point O et le centre M du secteur d'image IS, le secteur
- 10 d'image formant la base d'une pyramide de vision de l'observateur dont le sommet est le point O (position de l'observateur),
- $\theta_0$  et  $\phi_0$  sont les longitude et latitude de la direction du regard,
- 15 - Pixel\_Ecran[i,j] est la couleur (RVBA) d'un point E (i,j) du secteur d'image IS,
- Pixel\_Image[pu,pv] est la couleur d'un point P' (pu,pv) de l'ellipsoïde image ID1,
- R est le rayon de l'hémisphère HS servant de référence pour
- 20 les glissements tangentiels du secteur d'image IS, R ayant une valeur arbitraire choisie de manière à améliorer la précision des calculs, par exemple 10000,
- $\alpha$  est l'angle par rapport au centre O d'un point image P(px,py,pz) (représente l'angle de champ au moment de la
- 25 prise de vue du point objet correspondant),
- aux1, aux2 sont des variables intermédiaires,
- "Zoom" est une variable définissant le grossissement, ayant une valeur par défaut égale à R, et
- " $\sqrt{\phantom{x}}$ " est la fonction racine carrée.

### 30 ALGORITHME 2

- 1/ Pour  $i=-Imax/2$  à  $i=Imax/2$  faire [par incréments de 1]
- 2/ Pour  $j=-Jmax/2$  à  $j=Jmax/2$  faire [par incréments de 1]
- [calcul des coordonnées cartésiennes Ex, Ey, Ez du point E du
- secteur d'image dans le système de coordonnées (OXYZ)]
- 35 3/  $Ey = j*\cos(\phi_0) - Zoom*\sin(\phi_0)$
- 4/  $Ez = Zoom*\cos(\phi_0) + j*\sin(\phi_0)$
- 5/  $aux1 = Ez$
- 6/  $Ez = Ez*\cos(\theta_0) - i*\sin(\theta_0)$



```

7/      Ex = i*cos(θ0) + aux1*sin(θ0)
[calcul des coordonnées d'un point P correspondant au point
E]
8/      aux2 = R/√(Ex*Ex + Ey*Ey + Ez*Ez)
5 9/      px = Ex*aux2
10/     py = Ey*aux2
11/     pz = Ez*aux2
[calcul des coordonnées d'un point P'(pu,pv) correspondant au
point P(px,py,pz)]
10 12/     X = px/R
13/     Y = py/R
14/     r = √(X*X + Y*Y)
15/     α = arc sinus(r) [angle par rapport au centre]
16/     U = X/r
15 17/     V = Y/r
18/     pu = L1*U*Fd(α)
19/     pv = L2*V*Fd(α)
[attribution de la couleur du point P'(pu,pv) au point E(i,j)
du secteur d'image]
20 20/     Pixel_Ecran[i,j] = Pixel_Image[pu,pv]
21/  fin pour
22/  fin pour

```

On notera que la fonction Fd utilisée ici aux étapes 18 et 19 n'est pas une fonction Fd[Xi] qui dépend de l'axe Xi considéré mais est la fonction Fd[X1] selon l'axe X1. On a en effet choisi ici de simplifier l'algorithme pour ne pas tenir compte de l'angle  $\psi$ , ceci étant rendu possible par la forme ellipsoïdale de l'image ID1. L'adaptation des étapes 18 et 19 à la forme ellipsoïdale de l'image est assurée par les paramètres L1 et L2. Si la fonction Fd[X1] est linéaire, chaque valeur de Fd(α) est calculable au cours des étapes 18 et 19 au moyen de la relation suivante :

$$Fd(\alpha) = Fd[X1](\alpha) = K1 \cdot \alpha$$

avec  $K1 = 2\pi/\alpha$

Une demande de grossissement (zoom) par l'utilisateur conduit l'algorithme à modifier le paramètre "Zoom". Lorsque

le paramètre "Zoom" est égal au rayon R de l'hémisphère, aucun zoom n'est réalisé. Lorsque le paramètre "Zoom" est supérieur à R, la fenêtre DW s'éloigne de l'hémisphère HS (en suivant l'axe donné par la direction du regard OM), ce qui correspond à un rétrécissement de la pyramide de vision et donc à un grossissement du secteur d'image présenté dans la fenêtre DW. Le grossissement du secteur d'image présenté à l'observateur est donc égal au rapport des paramètres "Zoom" et R.

Lorsque l'algorithme est exécuté avec un paramètre "Zoom" supérieur à R, on gagne en définition dans les zones où l'image a été dilatée lors de la prise de vue car il existe toujours, tant que la limite de résolution n'est pas atteinte, deux points image sur l'ellipsoïde image ID1 qui correspondent à deux pixels adjacents du secteur d'image. Dans les zones non dilatées de l'image, la recherche du pixel le plus proche au moyen des relations  $L1*U*Fd(\alpha)$  et  $L2*V*Fd(\alpha)$  conduit au contraire l'algorithme à trouver sur l'ellipsoïde image ID1 le même point image pour plusieurs pixels adjacents du secteur d'image IS. Toutefois ces zones d'image non dilatées bénéficiant d'une moindre définition sur l'ellipsoïde image, équivalente à celle obtenue avec un objectif fish-eye classique, sont considérées comme secondaires pour l'application visée, conformément au postulat sur lequel se fonde la présente invention.

De façon générale, il apparaîtra clairement à l'homme de l'art que d'autres méthodes de projection peuvent être prévues, l'essentiel étant de retrouver l'angle de champ  $\alpha$  des points objet sur l'hémisphère HS, par rapport au centre O, afin de faire intervenir dans les calculs la fonction de répartition Fd.

L'algorithme 2 est bien entendu applicable lorsque l'on dispose de deux ellipsoïdes image complémentaires, l'un correspondant à une photographie avant et l'autre à une photographie arrière d'un panorama, la deuxième photographie étant prise en faisant pivoter l'objectif fish-eye selon l'invention de 180° autour d'un axe passant par le centre du panorama. On définit dans ce cas deux hémisphères

complémentaires et deux points image appelés "Pixel\_Image\_Devant" et "Pixel\_Image\_Derriere". Les étapes 18 et suivantes de l'algorithme sont alors modifiées ainsi :

```

18'/    pu = L1*U*Fd( $\alpha$ )
5 19'/    pv = L2*V*Fd( $\alpha$ )
20'/    Si pz >= 0 alors
21'/        Pixel_Ecran[i,j] = Pixel_Image_Devant[pu,pv]
22'/    Sinon
23'/        Pixel_Ecran[i,j] = Pixel_Image_Derriere[L1-pu,pv]
10 24'/    Fin si
25'/    fin pour
26'/fin pour

```

La figure 10 est un organigramme donnant un aperçu général des étapes d'un procédé de capture et de présentation interactive d'une image panoramique sur un écran. Cet organigramme est décrit par le tableau 2 figurant en Annexe, faisant partie intégrante de la description. On y retrouve les étapes d'acquisition S1 et de transfert S2 décrites plus haut. L'étape S2 est suivie d'une étape d'affichage interactif S3' faite conformément au procédé qui vient d'être décrit, incorporant implicitement une correction des déformations de l'ellipsoïde image grâce à l'utilisation de la fonction de répartition Fd de l'objectif pour retrouver sur l'ellipsoïde image les points correspondants aux pixels du secteur d'image.

### III - Exemple de réalisation d'un objectif fish-eye selon l'invention

La conception d'un objectif fish-eye à projection ellipsoïdale est basée ici sur l'utilisation de lentilles cylindriques. Ce type de lentille est déjà connu en soi et utilisé dans le domaine du cinéma pour l'obtention des lentilles au format cinémascope. Ce type de lentille est également utilisé dans les lecteurs de disque compact afin de positionner avec une grande précision le faisceau laser sur la surface d'un disque compact.

Dans le cadre de la présente invention, des lentilles cylindriques (également appelées lentilles toroïdales quand le rayon de courbure est infini) sont utilisées dans le but

d'augmenter la résolution dans le sens de la longueur du capteur d'image, en combinaison avec des lentilles assurant une capture d'image de type fish-eye. L'effet technique visé peut être obtenu grâce à une ou plusieurs lentilles  
5 cylindriques placées à une extrémité d'un groupe de lentilles équivalentes à un objectif fish-eye, l'image étant étirée suivant la perpendiculaire de l'axe du cylindre.

Un mode de réalisation particulier d'un objectif selon l'invention est décrit ci-après à titre d'exemple non  
10 limitatif.

La figure 11 est une vue en coupe d'un objectif fish-eye 30 selon l'invention. L'objectif 30 est ici du type adaptateur panoramique ("pano-converter") et est destiné à être fixé sur la lentille frontale d'un appareil  
15 photographique. Il concerne aussi les appareils grand public du type non-SLR (non Reflex) comprenant un objectif fixe de 35 mm.

L'objectif 30 comprend, dans le sens de l'entrée des rayons lumineux (gauche de la figure) vers la sortie des  
20 rayons lumineux, huit lentilles L1 à L8. La lentille L1 est une lentille asphérique en acrylique de type ménisque divergent, dont la face avant est convexe et la face arrière concave. La lentille L2 est une lentille sphérique en acrylique de type ménisque convergent, dont la face avant est  
25 concave et la face arrière convexe. La lentille L3 est une lentille asphérique en acrylique de type biconvexe. La lentille L4 est une lentille asphérique et diffractive (asphéro-diffractive) du type ménisque convergent dont la face avant est convexe et la face arrière concave, la face  
30 arrière comprenant un réseau de diffraction. La lentille L5 est une lentille asphérique en acrylique de type ménisque convergent, dont la face avant est concave et la face arrière convexe. La lentille L6 est une lentille sphérique plan-convexe en BK7 (borosilicate ou verre minéral standard  
35 utilisé en optique), dont la face avant est convexe.

Selon l'invention, les lentilles L7 et L8 sont des lentilles cylindriques ayant un axe de révolution perpendiculaire à l'axe optique. Pour l'homme de l'art, de

telles lentilles sont l'équivalent d'une portion de tore de rayon infini ayant un axe de révolution parallèle à l'axe optique. La lentille L7 est une lentille cylindrique plan-concave en BK7 dont la face arrière est concave (la concavité n'apparaît pas sur la figure 11 en raison de la faible valeur de la flèche). La lentille L8 est une lentille cylindrique de type plan-convexe en BK7, ayant sa face avant convexe (même remarque).

Très schématiquement, la lentille L1 permet de capturer une image panoramique selon un angle de champ souhaité, ici un angle de champ de 185°. La face arrière de la lentille L2 correspond à une pupille, et forme le diaphragme principal du système optique. La lentille L4 est une lentille de champ qui participe à l'imagerie pupillaire. Le surface diffractive dont est pourvue cette lentille, en sus de sa fonction dioptrique, provoque un déphasage de l'onde lumineuse répondant à une loi polynomiale du rayon d'ouverture. Les lentilles L8 et L7 réalisent la déformation ellipsoïdale recherchée. Les autres lentilles n'ont pas de rôle particulier, mais elles participent à l'obtention du résultat final et aux performances globales de l'objectif selon l'invention.

Un mode de réalisation détaillé de l'objectif adaptateur panoramique 30 est décrit par le tableau 3 figurant en annexe, faisant partie intégrante de la description. Le tableau 3 décrit les propriétés de chaque surface en référence à la figure 12, qui est une vue éclatée du système de lentille. Sur cette figure, les faces avant et arrière de la lentille L1 sont référencées S11 et S12, les faces avant et arrière de la lentille L2 sont référencées S21 et S22, les faces avant et arrière de la lentille L3 sont référencées S31 et S32, etc. , les faces avant et arrière de la lentille L8 étant référencées S81 et S82.

Les surfaces asphériques sont déterminées au moyen d'une équation de surface du type :

$$z(r) = [(C \cdot r^2) / (1 + \sqrt{1 - (1+k) \cdot C^2 \cdot r^2})] + A_1 r^2 + A_2 r^4 + A_3 r^6 + A_4 r^8 + A_5 r^{10}$$

dans laquelle :

"k" est une constante de conicité,

"A1", "A2", "A3", "A4", "A5" sont des constantes d'ajustement  
5 du coefficient de conicité en fonction de la position,

"z" est la forme de la surface,

"r" est le rayon au centre, et

"C" est le rayon de courbure.

Les épaisseurs et les diamètres sont exprimés en  
10 millimètres. La conicité est une grandeur sans dimension, une  
conicité de "0" désignant un cercle de révolution, une  
conicité de "-1" désignant une parabole de révolution, une  
conicité comprise entre "-1" et "+1" désignant une ellipse de  
révolution, une conicité inférieure à -1 ou supérieure à  
15 +1 désignant une hyperbole de révolution, les coefficients  $A_i$   
dans l'équation de surface permettant d'ajuster la forme  
générale.

La face diffractive de la lentille L4 est déterminée au  
moyen d'une formule du type :

20

$$\Phi(r) = \beta_1 (r/R_0)^2 + \beta_2 (r/R_0)^4$$

dans laquelle :

"r" est la distance par rapport au centre de la lentille d'un  
25 point considéré, se trouvant à la surface de la lentille,  
 $\beta_1$  et  $\beta_2$  sont des constantes définissant le déphasage de la  
surface d'onde,

"R0" est une constante permettant de normaliser r, et

" $\Phi$ " est le déphasage introduit par la surface diffractive au  
30 point considéré.

Il apparaîtra clairement à l'homme de l'art que la  
combinaison de lentilles qui vient d'être décrite ne  
constitue qu'un exemple de réalisation permettant de se  
rapprocher de la forme rectangulaire du capteur d'image. On  
35 pourra également prévoir des objectifs utilisant des  
lentilles toriques ou bi-toriques de forme plus complexe, par  
exemple un tore à surface asphérique. Dans une variante de  
réalisation, un objectif selon l'invention peut être réalisé

au moyen d'un système optique de type indirect, c'est-à-dire utilisant des miroirs. En particulier, un miroir de surface cylindrique ou toroïdale peut être utilisé pour déformer et étaler l'image à la surface du capteur d'image.

5           IV - Portée de la présente invention - variantes de réalisation

On a décrit dans ce qui précède un procédé de capture d'image panoramique au moyen d'un objectif fish-eye et d'un capteur d'image numérique de forme rectangulaire, dans lequel  
10 l'objectif est conçu pour déformer l'image panoramique afin de couvrir un plus grand nombre de pixels sur le capteur d'image sans diminution du champ de prise de vue. On a également décrit un procédé d'affichage sur un écran d'un secteur d'une image panoramique obtenue selon ce procédé,  
15 comprenant une étape de correction de l'image panoramique déformée. Cette étape de correction peut comprendre la correction de l'image avant sa transformation dans un espace à trois dimensions, conduisant à l'obtention d'un disque image classique. La correction peut aussi être implicite et  
20 intervenir au moment de la projection sur l'image initiale non corrigée d'un secteur d'image à présenter sur l'écran, en faisant intervenir la fonction de répartition de l'objectif ou une fonction mathématique s'en rapprochant.

Il apparaîtra clairement à l'homme de l'art que la  
25 présente invention est susceptible de diverses variantes tant en ce qui concerne les propriétés optiques de l'objectif fish-eye utilisé ou son agencement relativement au capteur d'image, que dans les étapes de traitement ultérieur de l'image panoramique obtenue. La présente invention est  
30 également susceptible de diverses applications. Outre les applications à la photographie et à la vidéo, la présente invention est notamment applicable au domaine médical, par exemple en endoscopie, où des capteurs d'image rectangulaires sont généralement utilisés. Les angles de champ des lentilles  
35 utilisées dans ces applications sont généralement inférieurs à 180° et plutôt de l'ordre de 140°.

Variante concernant l'agencement relatif du capteur d'image et des axes X1 et X2 de l'objectif

La figure 13 représente une variante de réalisation du procédé de l'invention dans laquelle l'objectif et le capteur d'image sont agencés l'un relativement à l'autre de manière que l'axe X2 (axe de plus fort étalement) coïncide avec une diagonale du capteur d'image 16. Ce mode de réalisation permet de couvrir un plus grand nombre de pixels du capteur d'image le long de l'axe X2. L'objectif présente ici, selon l'axe X1 (axe de plus faible étalement), une fonction de répartition  $F[X1]$  qui comprime l'image relativement à un objectif fish-eye classique. Ce mode de réalisation revient à donner priorité maximale à la définition de l'image selon l'axe X2, qui en pratique peut correspondre à l'axe horizontal d'une prise de vue.

#### **Variante comprenant la prévision d'un objectif fish-eye non linéaire**

Dans une variante avantageuse du procédé de l'invention, on prévoit un objectif qui présente en outre selon ses axes  $X_i$  des fonctions de répartition  $Fd'[X_i]$  non linéaires. Pour fixer les idées, les figures 14A et 14B illustrent les propriétés d'un objectif fish-eye non linéaire à projection elliptique. La figure 14A est un graphe comprenant en ordonnées la distance relative  $dr$  d'un point image (distance relative par rapport au centre de l'image) et en abscisse l'angle de champ  $\alpha$  du point objet correspondant. Sur ce graphe sont représentées les deux fonctions de répartition les plus significatives de l'objectif, à savoir les fonctions  $Fd'[X1]$  et  $Fd'[X2]$  selon les axes X1 et X2, et une fonction de répartition  $Fd'[X_i]$  selon un axe quelconque  $X_i$ . Les fonctions linéaires  $Fd[X1]$ ,  $Fd[X2]$ ,  $Fd[X_i]$  décrites plus haut en relation avec la figure 5C sont représentées en traits pointillés en tant que points de comparaison.

Pour des angles de champ inférieurs à un angle  $\alpha_1$ , les fonctions  $Fd'[X1]$ ,  $Fd'[X2]$ ,  $Fd'[X_i]$  présentent chacune une pente supérieure à la pente  $K1$ ,  $K2$ ,  $K_i$  de la fonction linéaire correspondante  $Fd[X1]$ ,  $Fd[X2]$ ,  $Fd[X_i]$ . Cela signifie que les points image correspondant à des points objet ayant un angle de champ compris entre 0 et  $\alpha_1$  sont projetés sur le capteur d'image avec un taux d'étalement supérieur aux



constantes  $K1$ ,  $K2$ ,  $Ki$  et sont ainsi plus éloignés les uns des autres. Pour des angles de champ supérieurs à l'angle  $\alpha_1$ , les fonctions  $Fd'[X1]$ ,  $Fd'[X2]$ ,  $Fd'[Xi]$  présentent chacune une pente inférieure à la pente  $K1$ ,  $K2$ ,  $Ki$  de la fonction  
5 linéaire correspondante  $Fd[X1]$ ,  $Fd[X2]$ ,  $Fd[Xi]$ . Cela signifie que les points image correspondant à des points objet ayant un angle de champ compris entre  $\alpha_1$  et  $A/2$  ( $A$  étant l'angle d'ouverture de l'objectif) sont plus proches les uns des autres.

10 Un ellipsoïde image ID3 obtenu avec un tel objectif non linéaire est représenté en figure 14B. L'ellipsoïde image présente une zone centrale ellipsoïdale ID3-1 où l'image est dilatée, et une zone périphérique ID3-2 où l'image est comprimée. On obtient ainsi une combinaison de deux effets  
15 techniques. Le premier effet technique est l'augmentation de définition due à l'étalement de l'image le long de l'axe  $X2$ . Le deuxième effet technique est une augmentation supplémentaire de définition dans la zone centrale ID3-1 de l'image, au détriment de la zone comprimée ID3-2 qui est  
20 considérée comme moins importante. La zone dilatée bénéficie d'une définition élevée car elle couvre un plus grand nombre de pixels sur le capteur d'image, tandis que la zone comprimée bénéficie d'une définition plus faible.

En pratique, une divergence maximale d'au moins  $\pm 10\%$  en  
25 par rapport à une fonction de répartition linéaire est nécessaire pour obtenir une dilatation d'image procurant un avantage sensible lors d'un zoom numérique. On appelle "divergence" l'écart en pourcentage entre la distance par rapport au centre d'un point image et la distance par rapport  
30 au centre qui serait obtenue pour le même point image si la fonction de répartition était linéaire. La divergence maximale est la divergence mesurée en un point où la fonction non linéaire est la plus éloignée de la fonction linéaire correspondante. Si l'on considère à titre d'exemple la courbe  
35  $Fd'[X2]$  sur la figure 14A, on voit qu'il existe un point image  $p_{max}$  où la courbe  $Fd'[X2]$  est la plus éloignée de la courbe linéaire  $Fd[X2]$ . En désignant par  $dr_{max}$  la distance relative du point  $p_{max}$  et par  $dr_{lin}$  la distance relative que

présenterait ce point par rapport au centre de l'image si la fonction de répartition était linéaire, la divergence maximale est ici égale à :

$$5 \quad \text{DIVmax\%} = [(dr_{\text{max}} - dr_{\text{lin}})/dr_{\text{lin}}] * 100$$

En pratique, la réalisation d'un objectif présentant des fonctions de répartition non linéaires  $Fd'[X1]$ ,  $Fd'[X2]$ ,  $Fd'[Xi]$  est à la portée de l'homme de l'art en ajoutant un groupe de lentilles formant apodiseur dans un objectif selon l'invention. Les apodiseurs sont des systèmes optiques bien connus de l'homme de l'art, utilisés par exemple en tant que filtres pour couvrir l'ouverture d'un instrument optique afin de supprimer les anneaux secondaires d'une figure de diffraction. Ici, l'idée de l'invention est d'utiliser un apodiseur dans un but différent, c'est-à-dire pour contrôler la répartition angulaire d'un objectif panoramique et obtenir la non-linéarité recherchée.

En pratique, un apodiseur peut être réalisé de façon simple au moyen d'une ou de plusieurs lentilles asphériques combinées éventuellement avec une surface diffractive. Un tel groupe optique peut par exemple comprendre une lentille plan-concave ayant une face avant concave et asphérique, une lentille plan-convexe ayant sa face plane orientée vers l'avant, un ménisque ayant une face avant concave et asphérique et une face arrière convexe diffractive.

L'obtention de plusieurs fonctions non linéaires  $Fd'[X1]$ ,  $Fd'[X2]$ ,  $Fd'[Xi]$  à partir d'une fonction non linéaire  $Fd$  définie par l'apodiseur est assurée par un groupe de lentilles du type décrit plus haut, comprenant par exemple des lentilles cylindriques.

Une autre manière permettant d'introduire un apodiseur dans un objectif du type décrit plus haut est de prévoir un système optique comprenant un miroir plan qui renvoie le faisceau lumineux sur un miroir déformant de forme concave asphérique, le faisceau réfléchi par le miroir déformant étant envoyé sur le capteur d'image. Dans un tel mode de réalisation, les irrégularités de sphéricité que présente la

partie concave du miroir déterminent la fonction de répartition angulaire  $F_d$  recherchée pour l'application visée (déformation au centre, sur les bords...).

## 5 Généralisation du procédé de correction et de l'algorithme 2

Il doit être noté ici que les outils modernes de conception de lentilles assistée par ordinateur peuvent permettre de réaliser tout type d'objectif selon l'invention, assurant une projection d'un panorama sous la forme d'une  
10 image de forme quelconque couvrant plus de pixels qu'un disque image, présentant une fonction de répartition linéaire ou non linéaire, utilisant des systèmes optiques directs ou indirects (miroirs).

Dans ces conditions, et en prévision des divers modèles  
15 d'objectifs selon l'invention susceptibles d'être réalisés, il est utile de prévoir une généralisation du procédé de correction selon l'invention.

La figure 15A illustre le cas où un objectif fish-eye selon l'invention projette sur un capteur d'image une image déformée ID4 de forme quelconque qui tend à se rapprocher de la forme rectangulaire du capteur. On distingue plusieurs courbes  $J(\alpha_1)$ ,  $J(\alpha_2)$ ,  $J(\alpha_3)$ ,  $J(\alpha=90^\circ)$  constituées chacune par des points image correspondant à des points objet ayant le même angle de champ  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha=90^\circ$ . On distingue  
20 également une courbe  $G(\psi_i)$  qui représente la projection d'un ensemble de points objet se trouvant le long d'un même axe  $X_i$  d'angle  $\psi_i$ , l'angle  $\psi_i$  étant mesuré ici par rapport à l'un des deux axes de plus fort étalement  $X_2$ ,  $X_2'$  que comprend l'objectif (ces axes, non représentés, coïncident  
25 sensiblement avec les deux diagonales du capteur d'image). On voit ici que la courbe  $G(\psi_i)$ , ou projection de l'axe  $X_i$  sur le capteur d'image, n'est pas rectiligne en raison de défauts physiques des lentilles entraînant naturellement une telle déformation. Une telle déformation ne constitue nullement un  
30 obstacle à la mise en œuvre du procédé de correction selon l'invention et nécessite seulement que la pluralité de fonctions de répartition  $F_d[X_i](\alpha)$  de l'objectif selon l'invention soient quantifiée lors de la conception de

l'objectif assistée par ordinateur. Une telle quantification des fonctions  $Fd[Xi]$  peut prendre la forme d'une table donnant pour chaque point objet défini par des angles  $\psi$ ,  $\alpha$  la position du point image correspondant sur l'image déformée ID4. Afin d'économiser l'espace mémoire du micro-ordinateur chargé de l'affichage de l'image ID4 (sous la forme d'un secteur d'image interactif glissant tangentiellement à une portion de sphère), la table peut être échantillonnée en supprimant un certain nombre de points objets. La fonction de répartition  $Fd[\psi_i](\alpha_i)$  pour chaque point objet supprimé est alors calculable par interpolation des fonctions de répartition des points objets adjacents.

En référence à la figure 15B, considérons à titre d'exemple un point  $P(px, py, pz)$  qui est la projection sur une portion de sphère HS d'un point image  $E(i, j)$  d'un secteur d'image à présenter sur un écran (non représenté ici). Le point  $P(px, py, pz)$  présente des angles  $\psi$  et  $\alpha$  déterminés. L'angle  $\psi$  est l'angle que présente relativement à l'axe OX un point "m" qui est la projection du point  $P(px, py, pz)$  dans le plan OXY. L'angle  $\alpha$  est l'angle par rapport à l'axe OZ que présente un segment de droite L passant par le point  $P(px, py, pz)$  et par le centre O de la portion de sphère HS. Comme cela a été expliqué plus haut, le point  $P(px, py, pz)$  est l'équivalent d'un point objet du panorama photographié, le centre O de la portion de sphère HS est l'équivalent du centre du panorama photographié, le segment de droite L est l'équivalent d'un rayon lumineux incident, l'axe OZ représente l'axe optique de l'objectif et l'angle  $\alpha$  représente l'angle de champ du point objet  $P(px, py, pz)$ .

Considérons ensuite que les angles  $\alpha$  et  $\psi$  sont compris entre les angles suivants :

$$\psi_i < \psi < \psi_{i+1}$$

$$\alpha_j < \alpha < \alpha_{j+1}$$

35

et que les fonctions de répartition de l'objectif ont été quantifiées pour les angles  $\alpha_i$ ,  $\alpha_{i+1}$ ,  $\psi_i$ ,  $\psi_{i+1}$ , par exemple dans une table T1 décrite partiellement ci-après.

Les coordonnées  $(p_u, p_v)$  d'un point  $P'(p_u, p_v)$  qui est la projection du point  $P(p_x, p_y, p_z)$  sur l'image déformée ID4, sont aisées à calculer par interpolation, par exemple une interpolation sur quatre valeurs:

5

$$p_u = [(p_u)_{i,j} + (p_u)_{i+1,j} + (p_u)_{i,j+1} + (p_u)_{i+1,j+1}] / 4$$

$$p_v = [(p_v)_{i,j} + (p_v)_{i+1,j} + (p_v)_{i,j+1} + (p_v)_{i+1,j+1}] / 4$$

Table T1

			$\psi_i$	$\psi_{i+1}$	..	
					.	
...						
$\alpha_j$			$(p_u)_{i,j} // (p_v)_{i,j}$	$(p_u)_{i+1,j} // (p_v)_{i+1,j}$		
$\alpha_{j+1}$			$(p_u)_{i,j+1} // (p_v)_{i,j+1}$	$(p_u)_{i+1,j+1} // (p_v)_{i+1,j+1}$		
...					..	
					.	

10

Ainsi, l'algorithme 2 décrit plus haut peut être généralisé en remplaçant les lignes 16 à 19 par les étapes suivantes :

15

[recherche de l'angle  $\psi$ ]

Si  $p_x > 0$  alors

$$\psi = \arccos(p_x / \sqrt{p_x^2 + p_y^2})$$

sinon si  $p_x < 0$

$$\psi = -\arccos(p_x / \sqrt{p_x^2 + p_y^2})$$

20

sinon si  $p_x = 0$  et  $p_y > 0$  alors

$$\psi = \pi/2$$

sinon si  $p_x = 0$  et  $p_y < 0$  alors

$$\psi = -\pi/2$$

sinon

25

$$\psi = 0$$

Finsi

$$p_u = L2 * Fd[\psi](\alpha)(1)$$

$$p_v = L2 * Fd[\psi](\alpha)(2)$$

Dans ces étapes,  $Fd[\psi](\alpha)(1)$  désigne la coordonnée "pu" d'un point  $P'(pu, pv)$  correspondant à la projection sur l'image ID4 d'un point  $P(px, py, pz)$  appartenant à l'hémisphère HS, le point  $P$  étant lui-même la projection d'un point  $E(i, j)$  appartenant au secteur d'image à afficher (non représenté en figure 15B). De même,  $Fd[\psi](\alpha)(2)$  désigne la coordonnée "pv" du point  $P'(pu, pv)$ .

On généralise ainsi l'algorithme 2 à tout type d'objectif au sens de l'invention. Dans le cas d'une image elliptique linéaire, la fonction  $Fd[\psi](\alpha)$  peut être exprimée sous la forme mathématique suivante et ne nécessite pas l'élaboration d'une table de quantification :

$$Fd[\psi](\alpha) = [\cos(\psi) * 2 * (\pi/\alpha) * (L1/L2) ; \sin(\psi) * 2 * (\pi/\alpha)]$$

L'exemple qui vient d'être décrit montre qu'un objectif selon l'invention peut présenter plusieurs axes de plus fort étalement ( $X2, X2'$ ). Cet exemple montre également que le ou les axes de plus fort étalement ne sont pas nécessairement perpendiculaires à l'axe  $X1$  de plus faible étalement.

## ANNEXE (faisant partie intégrante de la description)

Tableau 1

<p style="text-align: center;"><b>S1 - Acquisition</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capture d'une image panoramique au moyen d'un appareil photographique numérique ou d'une caméra vidéo numérique équipé(e) d'un objectif fish-eye selon l'invention</li> </ul> <p>⇒ Obtention d'un ellipsoïde image (D1, D2)</p>
<p style="text-align: center;"><b>S2 - Transfert du fichier image dans un ordinateur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transfert du fichier image de l'ellipsoïde image dans un micro-ordinateur,</li> <li>- Stockage en mémoire de masse (optionnel)</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>S3 - Correction de l'ellipsoïde image</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transfert des points image de l'ellipsoïde image dans un disque image virtuel de rayon D2 comprenant plus de points image qu'un disque image de rayon D1,</li> </ul> <p>⇒ Obtention d'un disque image classique</p>
<p style="text-align: center;"><b>S4 - Numérisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transfert des points image du disque image dans un système d'axes OXYZ en coordonnées sphériques,</li> </ul> <p>⇒ Obtention d'une image panoramique hémisphérique</p>
<p style="text-align: center;"><b>S5 - Affichage Interactif</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Détermination des points image d'un secteur d'image à afficher,</li> <li>- Affichage du secteur d'image sur une fenêtre d'affichage,</li> <li>- Détection des actions de l'utilisateur sur un pointeur d'écran ou tout autre moyen de commande,</li> <li>- Détection des actions de l'utilisateur sur des touches de grossissement d'image,</li> <li>- Modification du secteur affiché (glissement du secteur d'image affiché à la surface de l'hémisphère et/ou rétrécissement/dilatation du secteur d'image affiché)</li> </ul>

Tableau 2

<p style="text-align: center;"><b>S1 - Acquisition</b></p> <p>- Capture d'une image panoramique au moyen d'un appareil photographique numérique ou d'une caméra vidéo numérique équipé(e) d'un objectif fish-eye selon l'invention  ⇒ Obtention d'un ellipsoïde image</p>
<p style="text-align: center;"><b>S2 - Transfert du fichier image dans un ordinateur</b></p> <p>- Transfert du fichier image de l'ellipsoïde image dans un micro-ordinateur,  - Stockage en mémoire de masse (optionnel)</p>
<p style="text-align: center;"><b>S3' - Affichage interactif avec correction implicite des déformations de l'image initiale</b></p> <p>A - Détermination de la couleur des points <math>E(i, j)</math> d'un secteur d'image à partir des points <math>P'(pu, pv)</math> de l'ellipsoïde image :</p> <p>1- Détermination des coordonnées <math>Ex, Ey, Ez</math> dans le repère OXYZ de chaque point <math>E(i, j)</math> du secteur d'image,  2- Détermination des coordonnées <math>px, py, pz</math> de points <math>P(px, py, pz)</math> correspondant aux points <math>E(i, j)</math> projetés sur un hémisphère,  3- au moyen de la fonction de répartition <math>Fd</math> de l'objectif, détermination des coordonnées, dans le repère O'UV de l'ellipsoïde image, des points <math>P'(pu, pv)</math> correspondants à la projection des points <math>P(px, py, pz)</math> sur l'ellipsoïde image,</p> <p>B - Présentation du secteur d'image dans une fenêtre d'affichage</p> <p>C - Détection des actions de l'utilisateur sur un pointeur d'écran ou tout autre moyen de commande</p> <p>D - Détection des actions de l'utilisateur sur des touches de grossissement</p> <p>E - Modification du secteur d'image affiché (déplacement et/ou rétrécissement/grossissement du secteur d'image)</p>



Tableau 3

Surfaces	Type	Commentaire	Rayon de courbure	Epaisseur	Type de verre	Diamètre	Conicité
S11	ASPHERIQUE		-39.55	35		39.5	-4.07
S12	SPHERIQUE		-12.74	1.75	ACRYLIQUE	23	0
S21	SPHERIQUE		14.17	12.93		0.65	0
S22	SPHERIQUE		4.61	4.87	ACRYLIQUE	6.5	0
S31	ASPHERIQUE		-77.92	1.19		10	6.12
S32	SPHERIQUE		11.57	6.41	ACRYLIQUE	13	0
S41	DIFFRACTIVE		-9.82	3.75		17.1	-0.555
S42	SPHERIQUE		-12.71	4.58	ACRYLIQUE	16.5	0
S51	SPHERIQUE		-19.34	10.46		20	0
S52	ASPHERIQUE		-34.68	14.69	ACRYLIQUE	25.5	0.0858
S61	SPHERIQUE		-26.35	0.45		25.4	0
S62	SPHERIQUE		Infini	5.2	BK7	25.4	0
S71	TOROIDALE	ANAMORPHOSE	Infini	3		20	0
S72	SPHERIQUE		Infini	3.1	BK7	20	0
S81	SPHERIQUE		Infini	8		16	0
S82	TOROIDALE	ANAMORPHOSE	Infini	2	BK7	16	0

REVENDICATIONS

1. Procédé de capture d'une image panoramique numérique, comprenant une étape de projection d'un panorama (PM) sur un capteur d'image (16) au moyen d'un objectif fish-eye ayant un angle de champ constant relativement à son axe  
5 optique, le capteur d'image étant de forme rectangulaire,

caractérisé en ce que l'objectif fish-eye (15, 30) est prévu pour projeter sur le capteur d'image (16), sans diminution du champ de prise de vue, une image panoramique déformée (ID1, ID3) qui n'est pas en forme de disque et qui  
10 couvre sur le capteur d'image un nombre de pixels supérieur au nombre de pixels qui serait couvert par un disque image conventionnel (4).

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel  
15 l'objectif fish-eye présente une fonction ( $F_d[X_i]$ ,  $F_d'[X_i]$ ) de répartition de points image qui varie selon des axes ( $X_i$ ) perpendiculaires à l'axe optique (OZ) de l'objectif, et qui présente un taux d'étalement de l'image minimal le long d'un premier axe ( $X_1$ ) perpendiculaire à l'axe optique, et un taux  
20 d'étalement de l'image maximal le long d'au moins un second axe ( $X_2$ ) perpendiculaire à l'axe optique, de telle sorte que l'image projetée sur le capteur d'image est dilatée selon le second axe ( $X_2$ ).

25 3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel le premier ( $X_1$ ) et le second ( $X_2$ ) axes de l'objectif sont perpendiculaires et l'image (ID1) projetée par l'objectif sur le capteur d'image est de forme ellipsoïdale.

30 4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel le capteur d'image (16) est agencé relativement aux premier et second axes de l'objectif de manière que le grand axe (D2) de l'image ellipsoïdale (ID1) coïncide avec une longueur utile ( $L_d$ ) du capteur d'image.

5. Procédé selon la revendication 3, dans lequel le capteur d'image (16) est agencé relativement aux premier et second axes de l'objectif de manière que le grand axe (X2) de l'image ellipsoïdale coïncide avec une diagonale du capteur d'image.

6. Procédé selon l'une des revendications 2 à 5, dans lequel l'objectif présente une fonction de répartition ( $Fd'[Xi]$ ) qui n'est pas linéaire et qui présente une divergence maximale d'au moins  $\pm 10\%$  par rapport à une fonction de répartition linéaire ( $Fd[Xi]$ ), de telle sorte que l'image projetée (ID3) présente au moins une zone sensiblement dilatée (ID3-1) et au moins une zone sensiblement comprimée (ID3-2).

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel l'objectif fish-eye comprend une combinaison d'un groupe de lentilles (L1-L6) prévu pour capturer une image panoramique selon un angle de champ déterminé, et d'au moins une lentille cylindrique (L7, L8) ayant un axe de révolution perpendiculaire à l'axe optique de l'objectif.

8. Procédé d'affichage sur un écran (23) d'une image panoramique initiale (ID1) capturée conformément au procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de correction (S3, S3') des déformations de l'image initiale.

9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel l'étape de correction (S3) comprend la transformation de l'image initiale en une image numérique corrigée (ID2) en forme de disque, le diamètre de l'image corrigée étant choisi de manière que l'image corrigée comprennent un nombre de points image supérieur au nombre de pixels du capteur d'image couvert par l'image initiale.

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel l'image initiale (ID1) est de forme ellipsoïdale et l'image

corrigée (ID2) présente un diamètre (D3) dont la taille en nombre de pixels est au moins égale à la taille en nombre pixels du grand axe (D2) de l'image initiale ellipsoïdale (ID1).

5

11. Procédé selon la revendication 8, comprenant une étape de projection sur l'image initiale (ID1) de points image (E(i,j)) d'un secteur d'image (IS) à présenter sur l'écran (23), permettant de déterminer les couleurs des points image du secteur d'image à présenter sur l'écran, l'étape de projection sur l'image initiale (ID1) des points image (E(i,j)) du secteur d'image (IS) étant effectuée au moyen d'une fonction de répartition (Fd) représentative des propriétés optiques de l'objectif fish-eye, de telle sorte que l'étape de correction (S3') des déformations de l'image initiale est implicite dans l'étape de projection.

12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel l'étape de projection comprend une première étape de projection des points image (E(i,j)) du secteur d'image (IS) sur une portion de sphère (HS), et une seconde étape de projection sur l'image initiale (ID1) des points image (P(px,py,pz)) projetés sur la portion de sphère.

13. Produit programme d'ordinateur enregistré sur un support (25) et chargeable dans la mémoire d'un ordinateur numérique (22), caractérisé en ce qu'il contient des codes programme exécutables par l'ordinateur, agencés pour l'exécution des étapes du procédé d'affichage selon l'une des revendications 8 à 12.

14. Objectif fish-eye ayant un angle de champ constant relativement à son axe optique et comprenant des moyens optiques (L1-L8) pour projeter l'image d'un panorama (PM) sur un capteur d'image (16), caractérisé en ce qu'il comprend des moyens optiques (L6-L7) pour projeter, sans diminution du champ de prise de vue, une image déformée (ID1, ID3) qui n'est pas en forme de disque et qui couvre sur un capteur

d'image un nombre de pixels supérieur au nombre de pixels qui serait couvert par un disque image conventionnel (4).

15. Objectif selon la revendication 14, présentant une  
5 fonction ( $F_d[X_i]$ ,  $F_d'[X_i]$ ) de répartition de points image qui varie selon des axes ( $X_i$ ) perpendiculaires à l'axe optique ( $OZ$ ) de l'objectif, et qui présente un taux d'étalement de l'image minimal le long d'un premier axe ( $X_1$ ) perpendiculaire à l'axe optique, et un taux d'étalement de l'image maximal le  
10 long d'au moins un second axe ( $X_2$ ) perpendiculaire à l'axe optique, de telle sorte qu'une image délivrée par l'objectif est dilatée selon le second axe ( $X_2$ ).

16. Objectif selon la revendication 15, présentant une  
15 fonction de répartition ( $F_d'[X_i]$ ) qui n'est pas linéaire et qui présente une divergence maximale d'au moins  $\pm 10\%$  par rapport à une fonction de répartition linéaire ( $F_d[X_i]$ ), de telle sorte qu'une image ( $ID_3$ ) délivrée par l'objectif présente au moins une zone sensiblement dilatée ( $ID_3-1$ ) et au  
20 moins une zone sensiblement comprimée ( $ID_3-2$ ).

17. Objectif selon l'une des revendications 14 à 16, comprenant une combinaison d'un groupe de lentilles ( $L_1-L_6$ ) prévu pour capturer une image panoramique selon un angle de  
25 champ déterminé, et d'au moins une lentille cylindrique ( $L_7$ ,  $L_8$ ) ayant un axe de révolution perpendiculaire à l'axe optique de l'objectif.

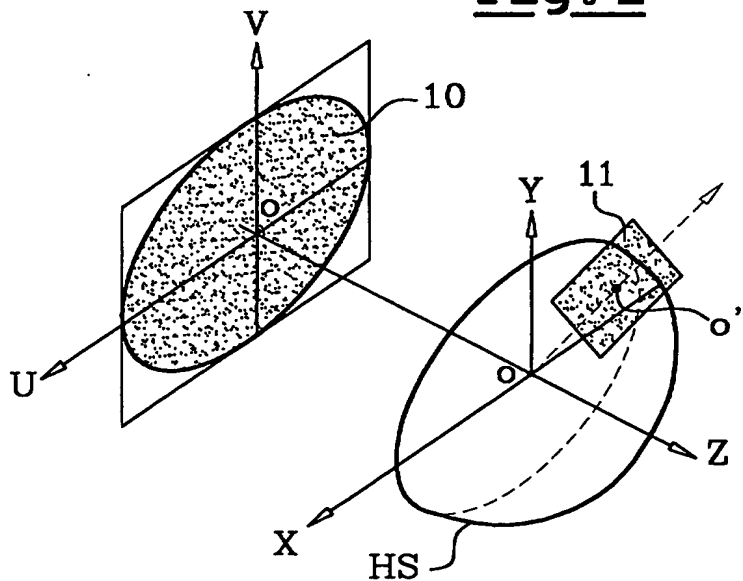
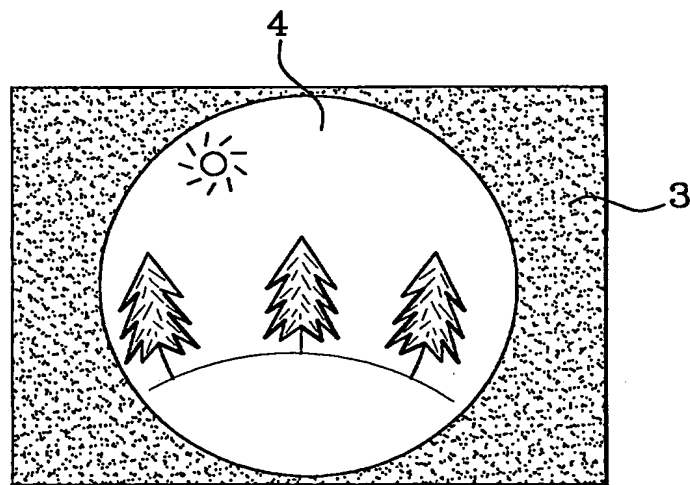
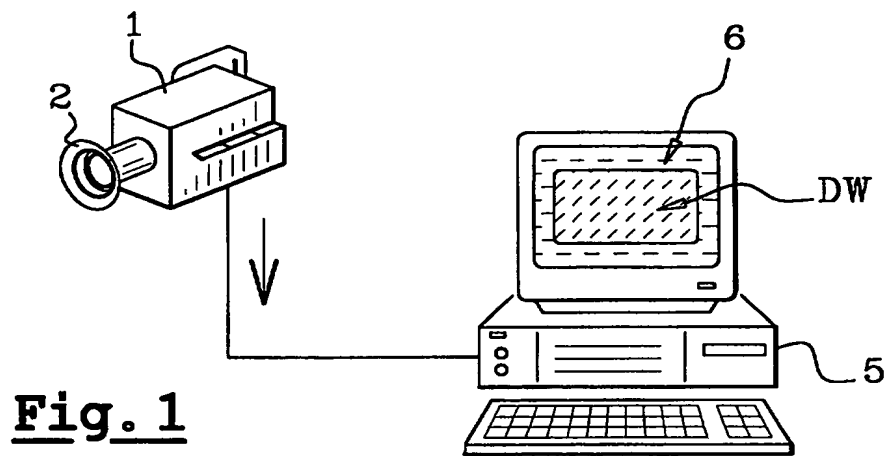
18. Objectif selon l'une des revendications 14 à 17,  
30 comprenant des moyens optiques formant apodiseur.

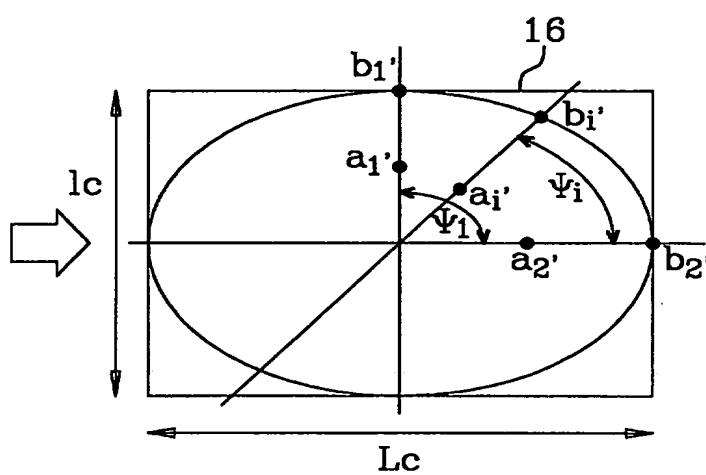
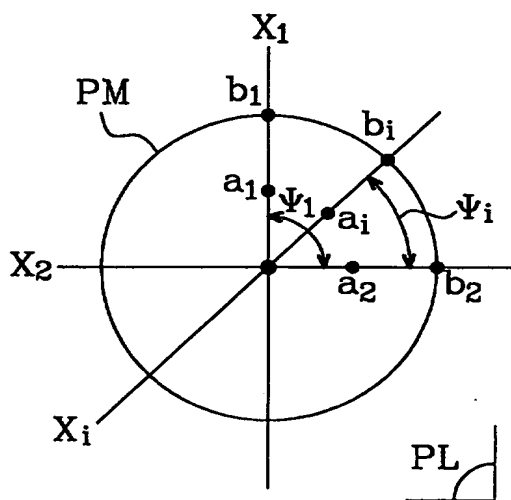
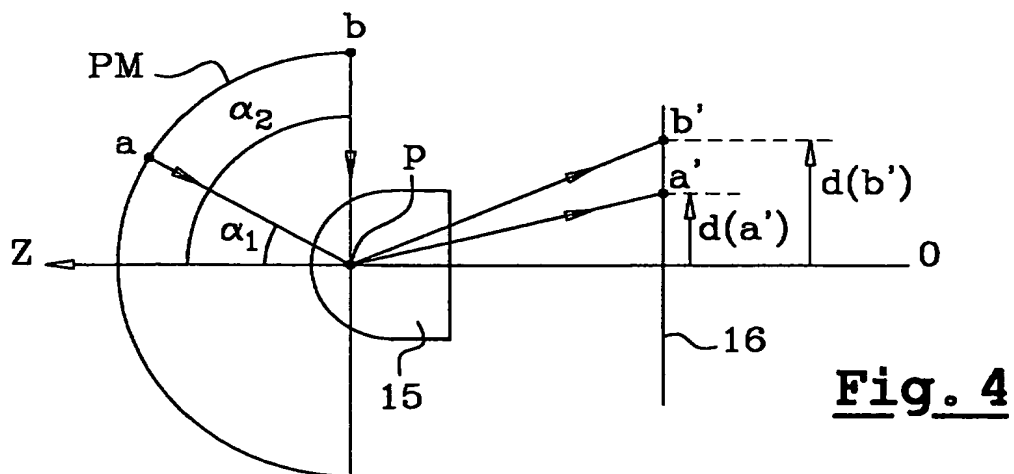
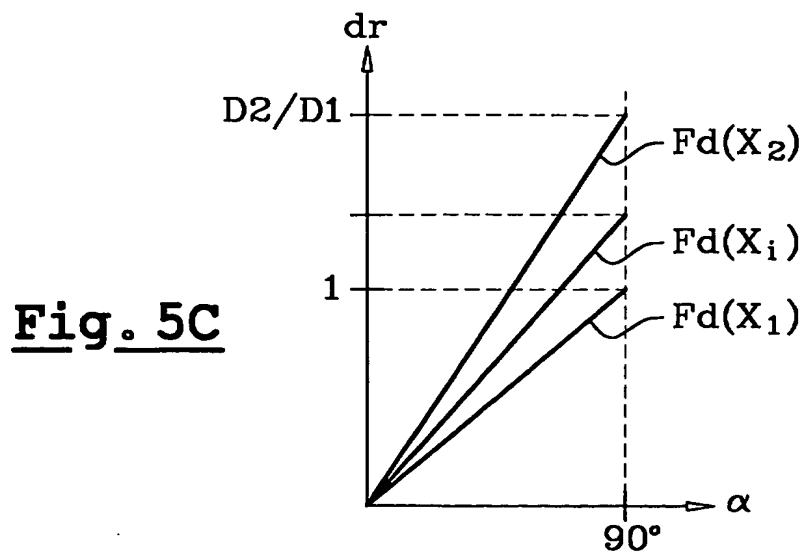
19. Objectif selon la revendication 18, dans lequel les moyens optiques formant apodiseur comprennent au moins une lentille asphérique.

35

20. Objectif selon l'une des revendications 14 à 19, comprenant au moins un miroir déformant.

21. Objectif selon l'une des revendications 14 à 20, caractérisé en ce qu'il est du type adaptateur panoramique et est prévu pour être placé devant un objectif non panoramique d'appareil photographique.



**Fig. 5A****Fig. 5B**



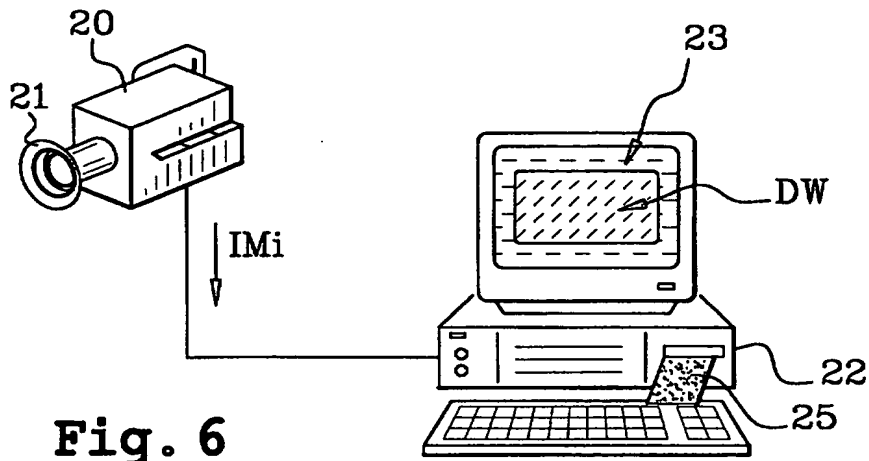


Fig. 7A

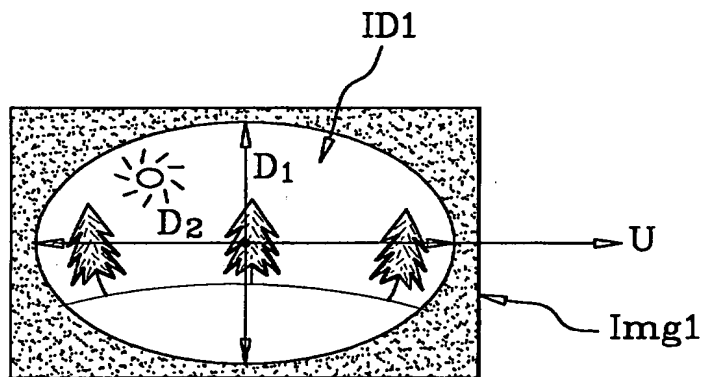
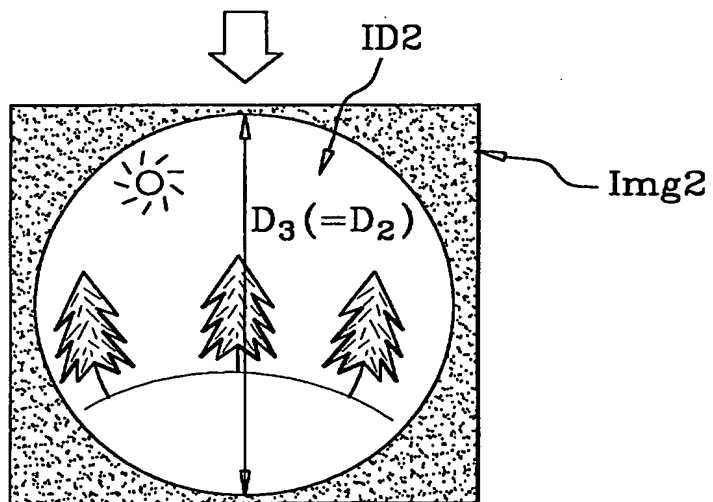
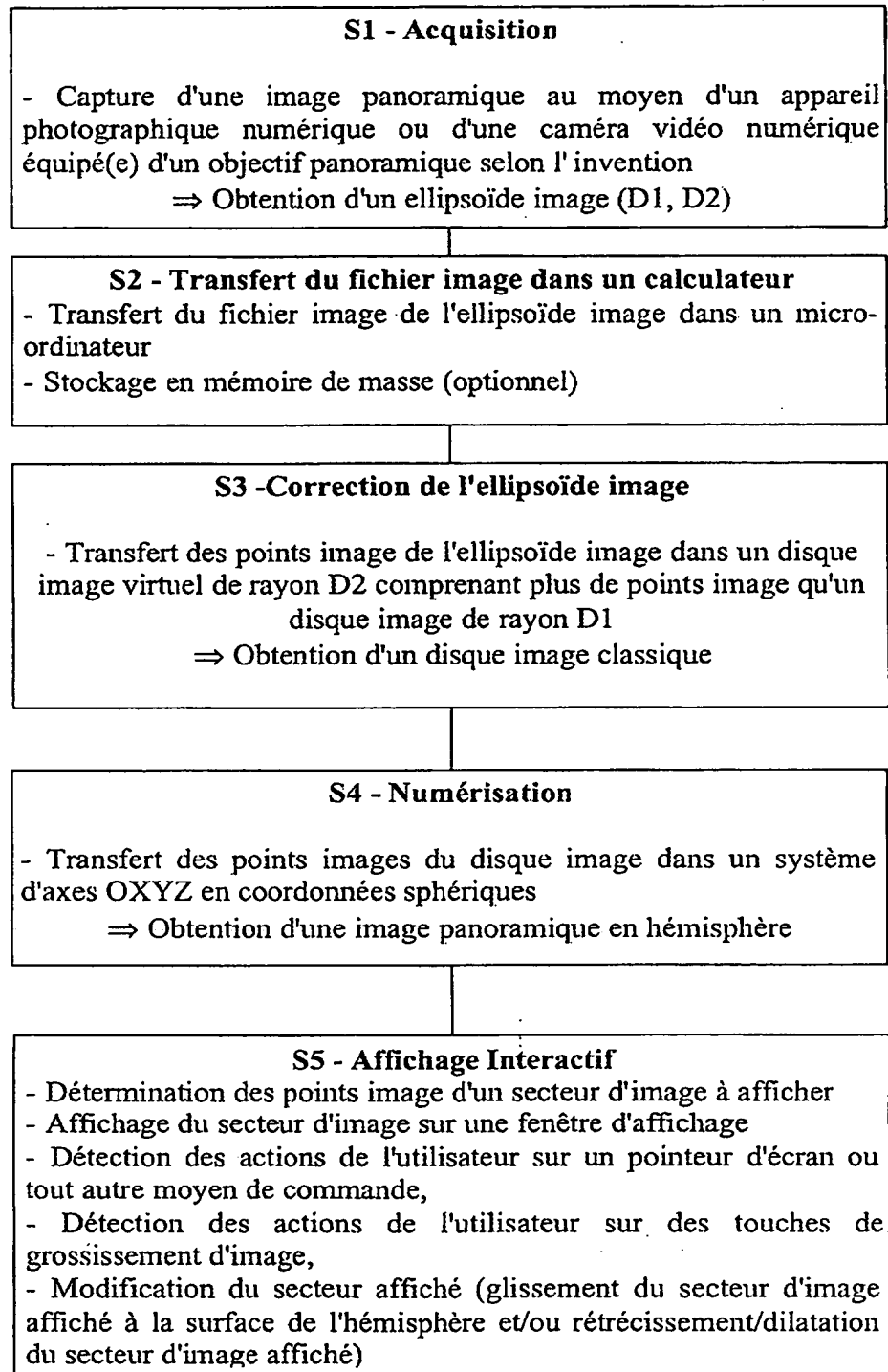
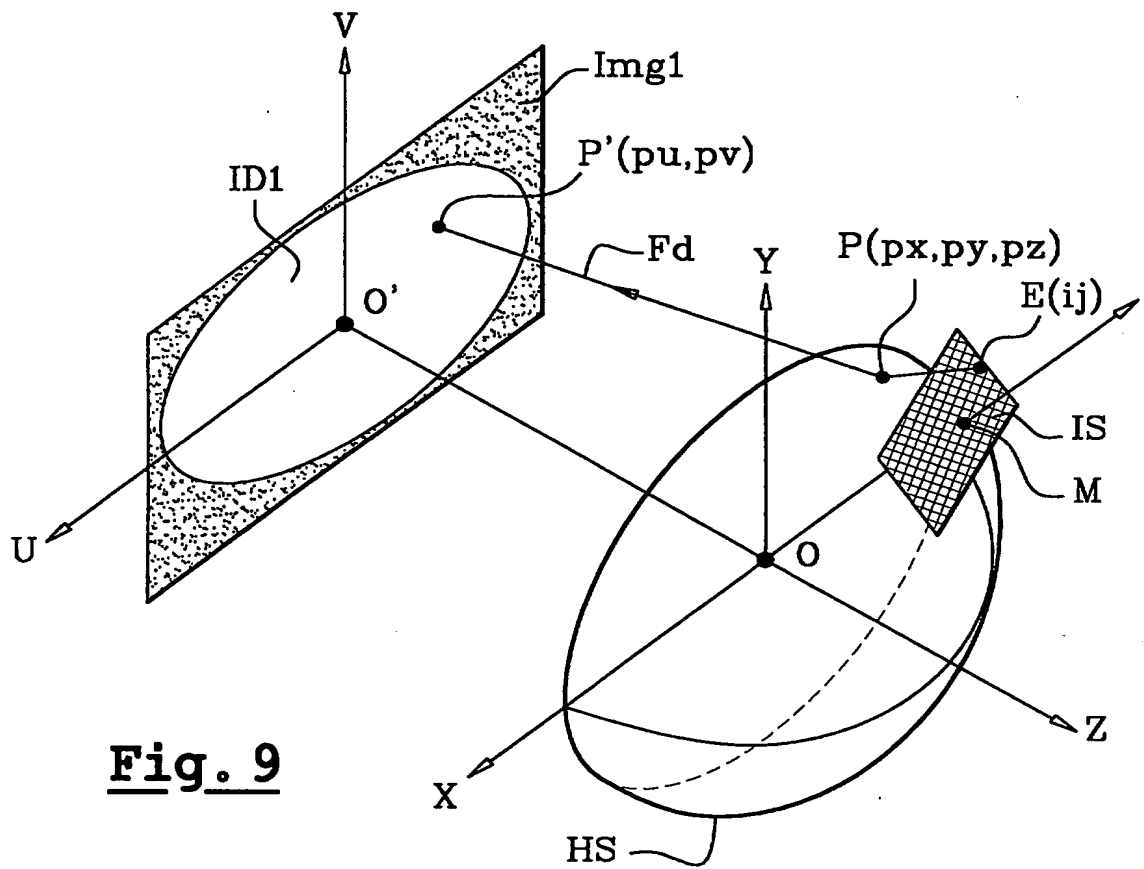
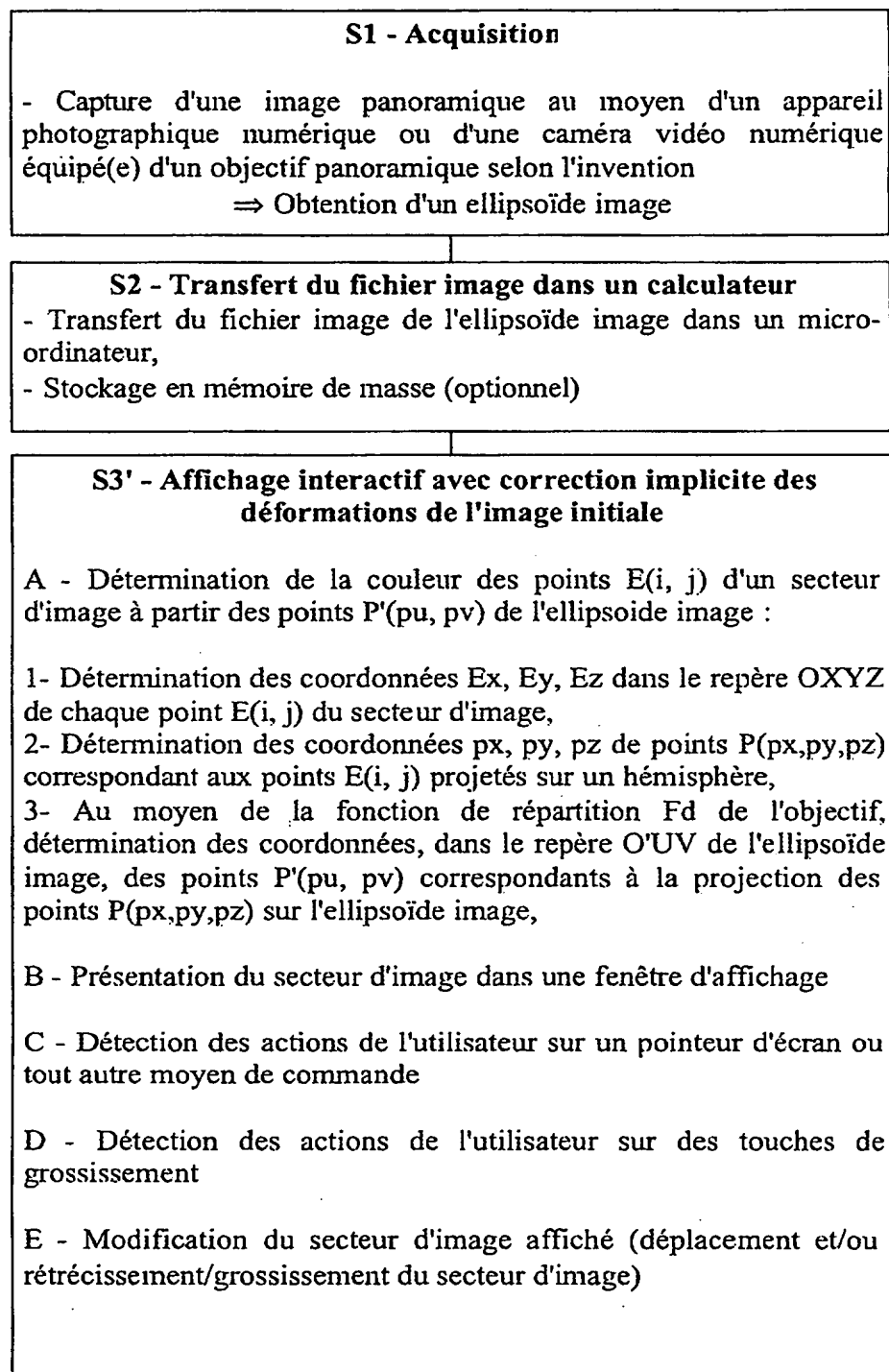


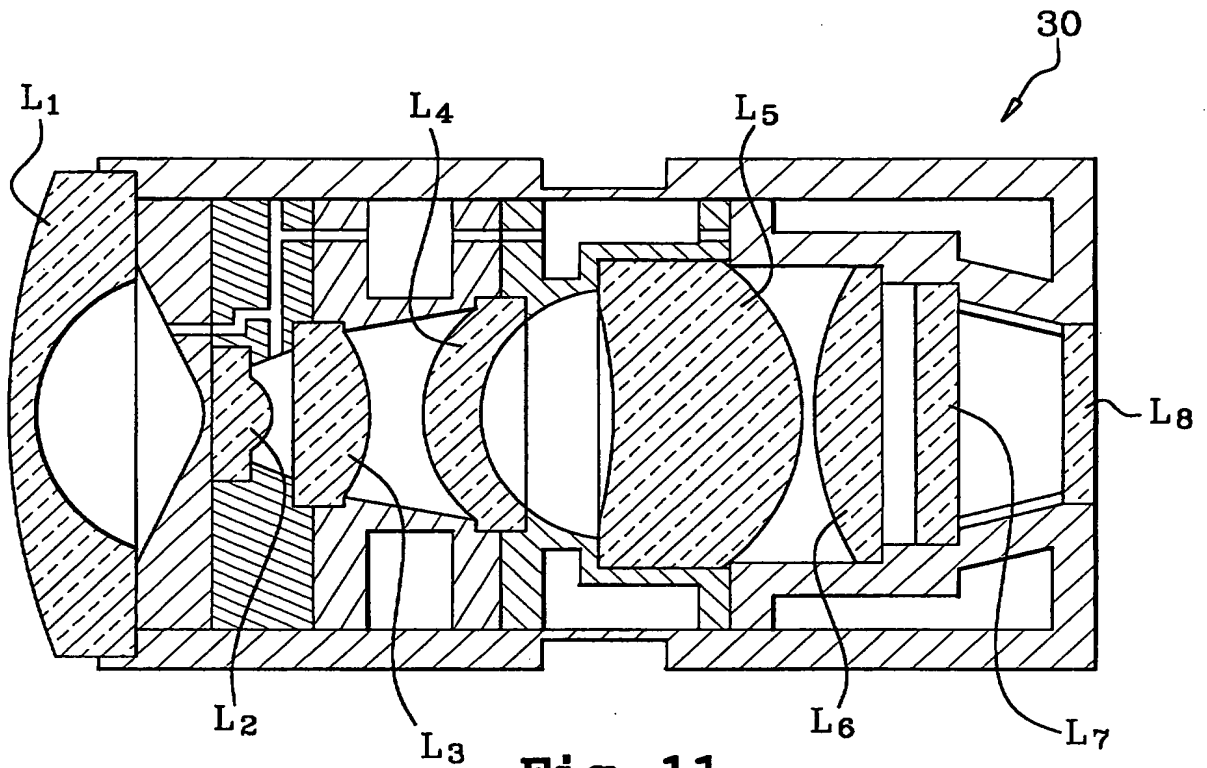
Fig. 7B



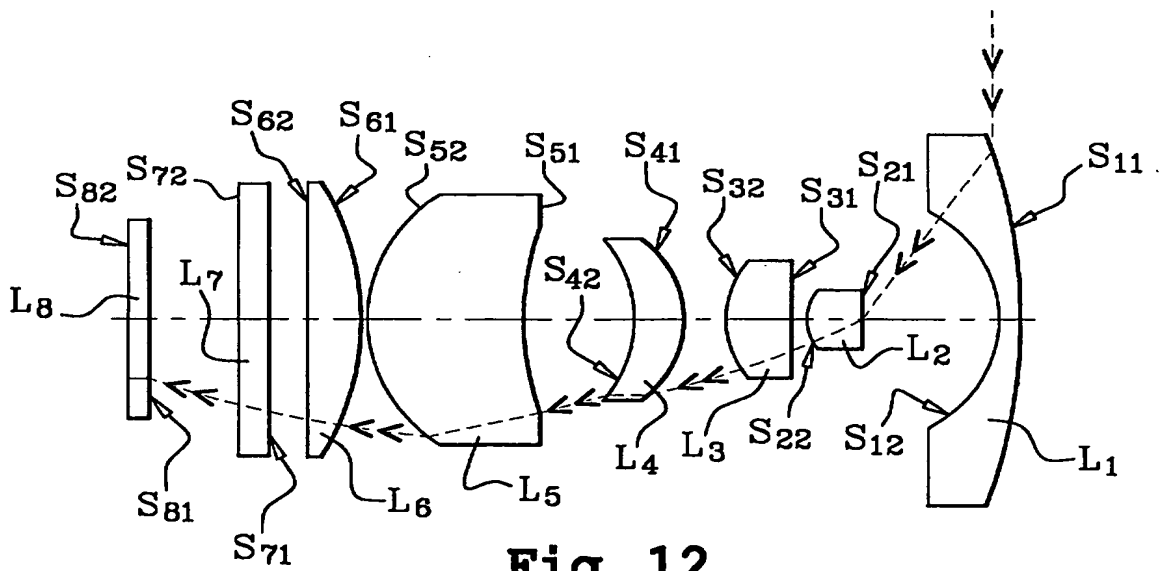
**FIG. 8**

**Fig. 9**

**FIG. 10**

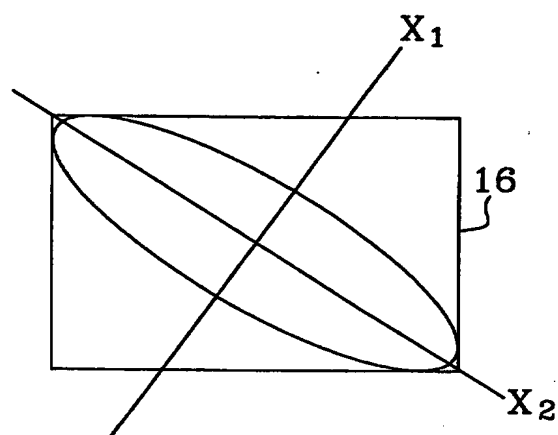
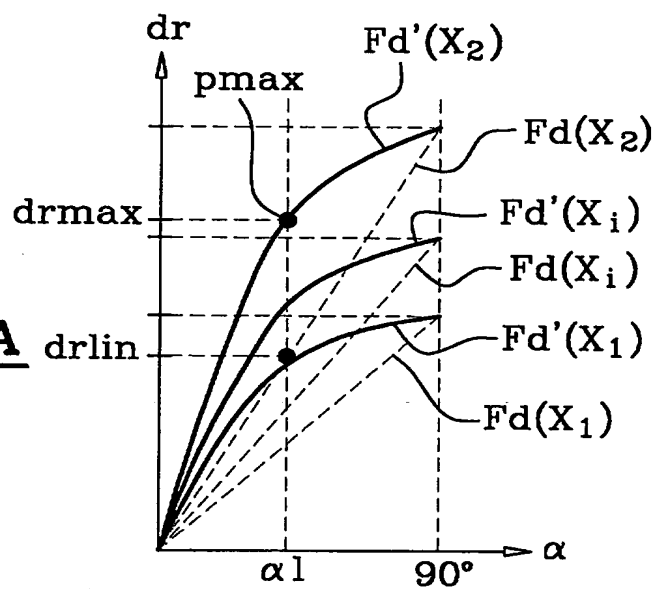
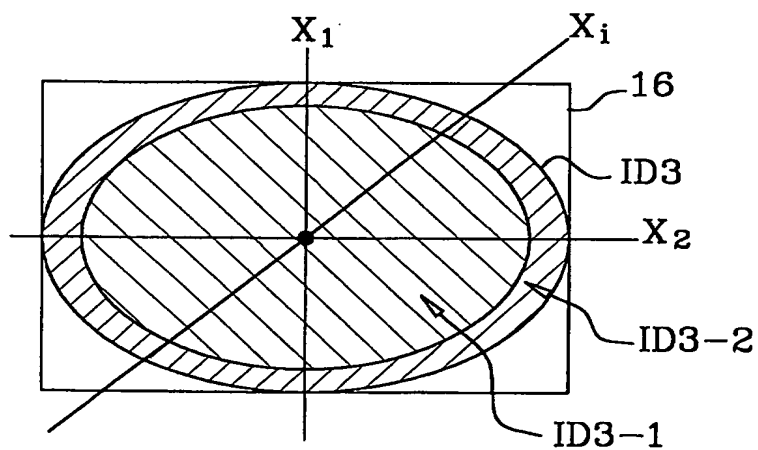


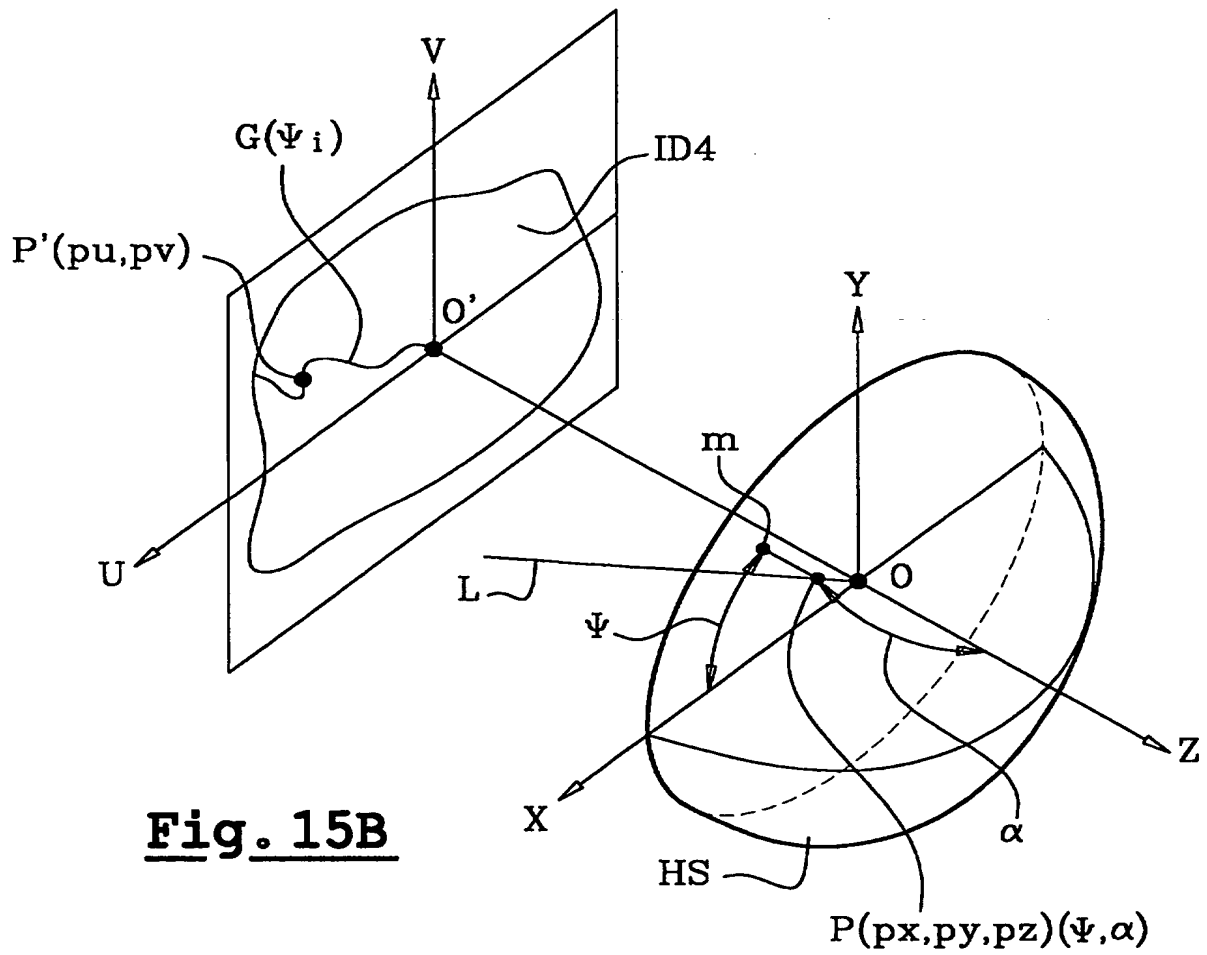
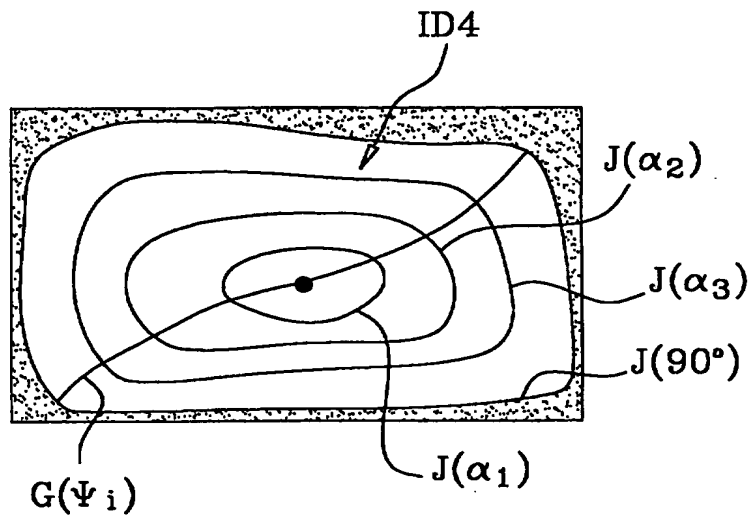
**Fig. 11**



**Fig. 12**

8/9

Fig. 13Fig. 14AFig. 14B

**Fig. 15A**





2827680

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0109735 FA 607302**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 23-04-2002  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 695085	A	31-01-1996	US 5508734 A	16-04-1996
			BR 9502919 A	05-03-1996
			CA 2152314 A1	28-01-1996
			DE 69515087 D1	23-03-2000
			DE 69515087 T2	14-09-2000
			EP 0695085 A1	31-01-1996
			JP 3103008 B2	23-10-2000
			JP 8055215 A	27-02-1996
			JP 2001091825 A	06-04-2001
			US 5686957 A	11-11-1997
US 5686957	A	11-11-1997	US 5508734 A	16-04-1996
			BR 9502919 A	05-03-1996
			CA 2152314 A1	28-01-1996
			DE 69515087 D1	23-03-2000
			DE 69515087 T2	14-09-2000
			EP 0695085 A1	31-01-1996
			JP 3103008 B2	23-10-2000
			JP 8055215 A	27-02-1996
			JP 2001091825 A	06-04-2001
US 5563650	A	08-10-1996	NL 9202046 A	16-06-1994
			NL 9202047 A	16-06-1994
			AU 673571 B2	14-11-1996
			AU 5627794 A	22-06-1994
			EP 0623268 A1	09-11-1994
			JP 7504285 T	11-05-1995
			CA 2128704 A1	09-06-1994
			WO 9413100 A2	09-06-1994